Aus der Chirurgischen Universitätsklinik und Poliklinik Würzburg
Direktor: Prof. Dr. med. E. Kern

ERGEBNISSE NACH WIEDERHERSTELLUNGSOPERATIONEN PERIPHERER NERVEN

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Bernd Fels

aus München-Pasing

Würzburg, den 19. Mai 1981

Aus der Chirurgischen Universitätsklinik und Poliklinik Würzburg
Direktor: Prof. Dr. med. E. Kern

ERGEBNISSE NACH WIEDERHERSTELLUNGSOPERATIONEN PERIPHERER NERVEN

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Bernd Fels

aus München-Pasing

Würzburg, den 19. Mai 1981

Referent: Prof. Dr. med. U. Lanz
Korreferent: Prof. Dr. med. E. Kern
Dekan: Prof. Dr. med. K.H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung: 23.7.1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Würzburg

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I.	Einleitung	
II.	Historischer Überblick	2
III.	Grundlagen	5
1.	Anatomie	5
1.1.	Deskriptive Anatomie	5
1.1.1.	N. medianus	5
1.1.2.	N. ulnaris	8
1.1.3.	N. radialis	1o
1.1.4.	Spendernerven	12
1.1.4.1.	N. suralis	12
1.1.4.2.	Andere Spendernerven	12
1.2.	Anatomie der Greifformen	13
1.3.	Histologie	14
2.	Pathologie	17
2.1.	Einteilung der Nervenschäden	17
2.2.	Stadium der Degeneration	18
2.3.	Stadium der Regeneration	2o
2.4.	Histopathologie des Nerven-transplantats	22
2.5.	Histopathologie des Muskels	22
3.	Grundlagen der Elektrophysiologie	23
4.	Präoperative Diagnostik	26
IV.	Indikationsstellung, Operation und Nachbehandlung	28
1.	Operationsindikation	28
2.	Instrumentelle Voraussetzung	28
3.	Operationstechnik	29
4.	Postoperative Komplikationen	31
5.	Nachbehandlung	32
V.	Krankengut	33

		Seite
VI.	Untersuchungsmethoden	35
1.	Vorgeschichte	35
2.	Klinische Untersuchung	35
2.1.	Sensibilität	35
2.1.1.	Sensibilitätsprüfung	35
2.1.2.	Sensibilitätstests	36
2.2.	Motorik	37
2.2.1.	Kraftmessung	37
2.2.2.	Funktionsprüfung der Nerven	38
2.3.	Bewertungsschema nach HIGHET	39
3.	Elektrophysiologische Untersuchungsmethoden	40
3.1.	Elektroneurographie	40
3.2.	Elektromyographie	42
VII.	Ergebnisse	43
1.	Trophik	43
2.	Sensibilität	43
2.1.	Witterungsempfindlichkeit	43
2.2.	Kälteempfindlichkeit	43
2.3.	Parästhesien	44
2.4.	Schmerzen	44
2.5.	Der Einfluß der Übung auf das Zweipunktediskriminationsvermögen	45
3.	Spezielle Ergebnisse	45
3.1.	N. medianus	45
3.1.1.	direkte Naht	45
3.1.2.	Transplantat	47
3.1.3.	Kraftminderung	49
3.2.	N. ulnaris	49
3.2.1.	direkte Naht	49
3.2.2.	Transplantat	51
3.2.3.	Kraftminderung	53
3.3.	N. radialis	53
3.3.1.	direkte Naht	53

		Seite
3.3.2.	Transplantat	53
3.4.	N. ischiadicus	55
3.5.	Wichtige Begleitverletzungen	55
4.	Elektrophysiologische Ergebnisse	56
4.1.	Elektroneurographische Befunde	56
4.2.	Spontanaktivität	57
4.2.1.	Spontanaktivität bei direkter Naht	57
4.2.2.	Spontanaktivität bei Transpantaten	58
4.3.	Motorische Einheit und Muster	59
5.	Einflüsse auf das Ergebnis durch	
5.1.	Zeitintervall Verletzung - Rekonstruktion	6o
5.2.	Spannung auf die Nervennaht bei 24 Direktnähten	61
5.3.	Alter des Patienten	63
5.4.	Interponatlänge	64
6.	Innervationsanomalien	65
7.	Analyse der Mißerfolge	66
8.	Beschwerden im Entnahmebereich des Spendernerven	67
VIII.	Diskussion	68
1.	Krankengut	68
2.	Subjektive Ergebnisse	68
2.1.	Witterungsempfindlichkeit	68
2.2.	Kälteempfindlichkeit	68
2.3.	Parästhesien	69
2.4.	Schmerzen	69
2.5.	Einfluß des Sensibilitätstrainings auf die ZPD	7o
2.6.	Beschwerden im Entnahmebereich des Spendernerven	7o

		Seite
2.7.	Auswirkung der Verletzung auf den Beruf	71
3.	Wertung der Untersuchungstechniken	73
3.1.	Sensibilität	73
3.2.	Motorik	75
3.3.	Elektrophysiologie	75
4.	Trophische Störungen und Sensibilität	76
5.	Bewertung und Ergebnisvergleich der einzelnen Nerven in ihrer motorischen Funktion	79
5.1.	N. medianus	79
5.2.	N. ulnaris	79
5.3.	N. medianus und N. ulnaris	8o
5.4.	N. radialis	81
5.5.	N. ischiadicus	81
6.	Einfluß der Spannung bei einer End-zu-End-Naht	82
7.	Einfluß der Zeitintervalls auf das Ergebnis	82
8.	Einfluß des Patientenalters auf das Ergebnis	86
9.	Beurteilung der End-zu-End-Naht im Vergleich zum Interponat	87
1o.	Einfluß der Interponatlänge auf das Ergebnis	87
11.	Beurteilung der elektrophysiologischen Daten	88
11.1.	Elektroneurographischer Befund	88
11.2.	Spontanaktivität	88
11.3.	Motorische Einheit und Muster	89
IX.	Zusammenfassung	91

I. EINLEITUNG

Die Problematik der Läsion eines wichtigen peripheren Nerven für den Patienten läßt sich am besten anhand der im Moment gültigen Zahlen für die Erwerbsminderung verdeutlichen. KRÖSL und ZRUBECKY bewerten einen kompletten Ausfall des N. medianus mit 3o - 35 %, einen des N. ulnaris mit 2o - 25 %. Die Durchtrennung beider Nerven bedeutet eine Erwerbsminderung von 6o %. Ist der N. radialis ohne Parese des M. brachioradialis betroffen, ist eine MdE von 2o % anzusetzen. Die Autoren unterscheiden dabei nicht zwischen Gebrauchs- und Gegenhand. MUMENTHALER und SCHLIACK bewerten eine Läsion an der Gebrauchshand sogar um 5 % höher als an der Gegenhand.

Aus diesen Zahlen geht die große Bedeutung einer erfolgreichen Operation für den Patienten hervor. Aufgabe dieser Arbeit ist es, die Abhängigkeit des Erfolgs einer Nervenoperation von verschiedenen äußeren Einflüssen darzustellen und die Ergebnisse verschiedener Zentren zu vergleichen.

II. HISTORISCHER ÜBERBLICK

Die periphere Nervendurchtrennung war bereits im Altertum bekannt. Schon bei HIPPOKRATES findet sich eine Beschreibung der Symptomatik. In dieser Epoche behandelte man solche Verletzungen rein konservativ.

Aus der langen Reihe derer, die sich mit dieser Problematik befaßt haben, sollen nur zwei Persönlichkeiten erwähnt werden: PAUL V. AEGINA bemühte sich im 7. Jahrhundert n. Chr. um eine Adaptation der durchtrennten Nerven, indem er das umliegende Gewebe nähte. Die erste Direktnaht führte 1596 G. FERRARA durch. Als Nahtmaterial wurden zu dieser Zeit in Rotwein getauchte Schildkrötensehnen verwendet. Man muß dies als einen Beweis dafür ansehen, daß man sich bereits Gedanken über die Art des Nahtmaterials machte.

Mit HUETERs erster Epineuralnaht 1871 begann die Ära der modernen Chirurgie peripherer Nerven. HUETER adaptierte die Nervenenden mit Einzelknopfnähten so nahe wie möglich aneinander. Seine Operationen zeigten dann einen gewissen Erfolg, wenn der Nervenquerschnitt viele Fasern aufwies und die Adaptation spannungsfrei erfolgte. Die Unbeständigkeit des Erfolges blieb bis 1964 unklar. Erst EDSHAGE belegte tierexperimentell, daß es trotz guter Adaptation der Nervenhülle im Inneren des Nerven zu einem regellosen Wachstum der einzelnen Faszikel kommt, das den Erfolg verhindert.

1886 forderte RICHARDSON zerquetschte Stümpfe zu resezieren, um glatte, narbenfreie Flächen zu schaffen. Diese Grundforderung gilt auch heute noch.

Die zweite Grundforderung - die Spannungsfreiheit - wurde von PHILIPEAUX und VULPIAN 187o aufgrund von Tierexperimenten aufgestellt. Beide verwendeten bereits freie Nerventransplantate.

Trotz neuer Techniken brachten die letzten Jahre des vorigen Jahrhunderts keine Fortschritte. ALBERT und MAYO

ROBSON begannen in den 8oiger Jahren homologe Transplantate klinisch auszuprobieren. Die erhofften Ergebnisse blieben jedoch aus. Ein weiteres Hindernis stellte die ablehnende Haltung vieler namhafter Persönlichkeiten dar. So warnte VIRCHOW vor möglichen Komplikationen wie Tetanus, Fieber und Neuritis.

1917 versuchten BIELSCHOWSKY und UNGER die erste autologe Transplantation. Sie schlugen die heute gebräuchliche Form des Hautnerventransplantates vor. Zum damaligen Zeitpunkt konnte der Durchbruch nicht gelingen, weil die technischen Schwierigkeiten des ungleichen Durchmessers der zu adaptierenden Nerven noch nicht lösbar waren.

194o versuchte YOUNG Nerven mit Fibrin zu kleben. Diesen Gedanken nahmen HEISS und FAUL Mitte der 6oiger Jahre wieder auf. Nach anfangs vielversprechenden experimentellen Ergebnissen erwies sich diese Methode schnell als unbefriedigend. MILLESI wies nach, daß es nach dem Kleben zunächst zu einer Regeneration kommt. Nach etwa sechs Wochen setzt jedoch eine so massive Bindegewebsreaktion ein, die die sich regenerierenden Achsenzylinder zerstört.

Um eine Bindegewebsreaktion zu verhindern, kam der Gedanke der Einscheidung der genähten Nerven mit Millipore (Zelluloseacetat), Fibrin und Kollagen auf. Der erwartete klinische Erfolg blieb jedoch aus. So konnte u.a. VOSSKÜHLER am Krankengut der Chirurgischen Universitätsklinik Würzburg nachweisen, daß Besserung oder Heilung nicht in dem erhofften Umfang auftraten. MILLESI fand wenig später den Grund: Das Bindegewebe, das die Regeneration verhindert, stammt vom Epineurium. Außerdem bewirkt das eingebrachte Millipore eine Fremdkörperreaktion.

Um einen ausgedehnten Defekt des N. medianus zu decken, schlug ST. CLAIR STRANGE 1947 eine Operationsmethode vor, bei der der N. ulnaris in die bestehende Lücke eingesetzt wird. Voraussetzung für diese Operations-

methode ist ein ebenfalls großer Defekt des N. ulnaris. Die Operation erfolgt in zwei Sitzungen im Abstand von drei bis sechs Wochen. Diese Methode wird heute noch bei ausgedehnten Defekten angewendet.

Aufgrund der Erfahrungen mit Lyo-Dura versuchte SEDDON 1963 die Transplantation homologen Materials. Dabei wurde vorzugsweise Material jugendlicher Verstorbener verwendet, das sowohl chemisch als auch mit gamma-Strahlen vorbehandelt worden war. Die immunologischen Probleme waren damit nicht gelöst. Eine Kommission der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie stellte bei Nachuntersuchungen die schlechten Ergebnisse fest. Aus dieser Erfahrung heraus schlug SEDDON vor, autologes Nervenmaterial zu verwenden.

Erst die Einführung der mikrochirurgischen Technik durch SMITH (1964) sowie durch MILLESI und Mitarbeiter (1967) brachte weiteren Fortschritt. Seit 1964 entwickelte MILLESI die heute gebräuchliche "interfasciculäre Nervennaht". Mit dieser Methode erreicht man eine bestmögliche Adaptation der Nervenenden.

Das Problem, daß ein Transplantat von seiner Gefäßversorgung abgeschnitten wird, versuchen zwei neue Techniken zu lösen: TSUGE stellte 1975 die Nahttechnik "Anchoring funicular suture" vor. Der Autor stellt sie zwischen Perineural- und Interfaszikulärnaht. Man soll damit Lücken zwischen 2 und 4 cm überbrücken können. - TAYLOR berichtete 1976 von einer Technik, bei der ein Oberflächennerv, in der Regel der Ramus superficialis n. radialis, als gestielte Nervenplastik eingesetzt wird. 1978 berichtete der Autor, er habe einen 22 cm langen Defekt mit dieser Methode überbrückt. Nach zwei Jahren sei damit eine praktisch normale Handfunktion wiederhergestellt gewesen.

Wie weit die beiden letzten Techniken Eingang in die Versorgung peripherer Nervenläsionen finden, bleibt abzuwarten.

III. GRUNDLAGEN

1. Anatomie

1.1. Deskriptive Anatomie

Der Arm wird von zwei rein sensiblen und vier gemischten Nerven innerviert. Die beiden rein sensiblen Nerven, der N. cutaneus brachii medialis und der N. cutaneus antebrachii medialis, versorgen die ulnare Seite des Ober- und Unterarms bis zum Handgelenk. Die radiale Seite des Unterarms wird vom N. cutaneus antebrachii lateralis, dem Endast des N. musculocutaneus innerviert. Die vier gemischten Nerven sind der N. musculocutaneus, der N. radialis, der N. ulnaris und der N. medianus.

Im folgenden Abschnitt soll die Anatomie des N. medianus, des N. ulnaris und des N. radialis dargestellt werden, die zum Verständnis der neurologischen Untersuchungstechnik, der Operationsmethode sowie der Erscheinungen bei Ausfall des betreffenden Nerven wichtig ist.

1.1.1. N. medianus

Der N. medianus entsteht aus den Wurzeln C5 bis Th1. Motorisch versorgt er die langen Flexoren mit Ausnahme des M. flexor carpi ulnaris und des ulnaren Kopfes des M. flexor digitorum profundus. Nach seinem Durchtritt durch den M. pronator teres gibt er als einen sehr wichtigen Ast den N. interosseus anterior ab. Bei einem isolierten Ausfall dieses Astes fallen die Mm. flexor pollicis longus, digitorum profundus II und III sowie der pronator quadratus aus. Der Hauptstamm verläuft zwischen M. flexor digitorum profundus und superficialis. An diesen ist er durch lockeres Bindegewebe befestigt und kann hier leicht aufgesucht werden. Nach seinem Durchtritt durch den Karpalkanal spaltet sich der Nerv im Mittelfach der Hand in drei Nn. digitales palmares communes auf. Diese versorgen von der Thenarmuskulatur den M. abductor pollicis brevis, den M. opponens

und den oberflächlichen Kopf des M. flexor pollicis brevis. Diese Äste versorgen auch die Mm. lumbricales I, II und teilweise III (V. LANZ, WACHSMUTH, MUMENTHALER, SCHLIACK).

Sensibel versorgt der N. medianus mit seinem Ramus palmaris, der den Nerven proximal des Retinaculum flexorum verläßt, die Haut über dem Thenar sowie die radiale Hälfte der Hohlhand. Die sieben Nn. digitales palmares proprii, die aus den beschriebenen Nn. digitales communes entstehen, versorgen die Haut am Daumen, Zeige- und Mittelfinger sowie die Radialseite des Ringfingers. Auf der Doralseite der Finger II und III versorgt der N. medianus Mittel- und Endglied. Das Autonomgebiet des N. medianus ist der Zeigefinger (MUMENTHALER, SCHLIACK).

Die Reizpunkte des N. medianus für die elektrophysiologische Untersuchung liegen erstens am medialen Rand des M. biceps proximal der Ellenbeuge. Eine Reizung des N. ulnaris ist praktisch ausgeschlossen, weil dieser bereits hinter dem Septum intermusculare ulnare liegt. Der zweite Reizpunkt liegt am Handgelenk zwischen den Sehnen des M. flexor carpi radialis und dem M. pronator longus, da der N. medianus hier ganz oberflächlich liegt. Ableitmuskel für den N. medianus ist in der Regel der M. abductor pollicis brevis. Die sensible antidrome Ableitung erfolgt am II. und III. Finger. Der IV. Finger ist wegen seiner teilweisen Ulnarisinnervation nicht geeignet (LUDIN, V. LANZ,WACHSMUTH).

Die physiologischen Engen des N. medianus liegen bei seinem Durchtritt durch den M. pronator teres und durch den Karpalkanal. An beiden Stellen kann es zu Kompressionserscheinungen kommen, die chirurgische Therapie notwendig machen. Das Karpaltunnelsyndrom stellt die häufigste Medianusläsion dar (MUMENTHALER, SCHLIACK).

Besonders gefährdet ist der N. medianus proximal der Ellenbeuge und im Handwurzelbereich (V. LANZ, WACHSMUTH).

Im Gegensatz zur "Schwurhand", wie sie in den meisten Lehrbüchern bei hoher Medianusläsion dargestellt wird, findet der Untersucher, daß der dritte Finger gebeugt werden kann. Außerdem ist eine geringe Beugung im Grundgelenk des II. und III. Fingers möglich. Die Begründung dafür liegt in der Mitinnervation des M. flexor digitorum profundus III und der Mm. interossei durch den N. ulnaris (MUMENTHALER,SCHLIACK, KLOSTERMANN, TISCHENDORF).

Der N. medianus kann eine Reihe von Variationen in seinem Verlauf aufweisen, von denen die wichtigsten erwähnt werden müssen. Die meisten Variationen entstehen aus Verbindungen zwischen dem N. musculocutaneus oder dem N. ulnaris mit dem N. medianus, da diese drei Nerven embryologisch ventralen Ursprungs sind.

Am Oberarm kann der N. medianus Fasern aus dem N. musculocutaneus aufnehmen. Diese Fasern können sogar die radiale Medianuszinke ersetzen (SPINNER, KAPLAN). Nach SUNDERLAND innervieren diejenigen Fasern, die aus dem N. musculocutaneus stammen, den M. pronator teres und den M. flexor carpi radialis.

Der N. interosseus anterior tauscht Fasern mit dem N. ulnaris aus, die den M. pronator quadratus innervieren.

Nach WYNN PARRY können alle Handbinnenmuskeln sowohl ganz vom N. ulnaris als auch vom N. medianus innerviert werden.

Auf eine besondere Variationsmöglichkeit im Thenarbereich macht LANZ aufmerksam: Der Thenarast kann einen hohen Abgang aus dem N. medianus haben, was besondere Bedeutung bei Teildurchtrennungen hat und bei der Wahl der Inzision wichtig ist.

In der Hohlhand kommt es regelmäßig zum Faseraustausch zwischen N. medianus und N. ulnaris. Der III. und IV. Finger kann eine Doppelinnervation erhalten (ROWNTREE).

1.1.2. N. ulnaris

Der N. ulnaris entsteht aus den Segmenten C8 bis Th1. Er versorgt motorisch im Unterarmbereich den ulnaren Kopf des M. flexor digitorum profundus und den M. flexor carpi ulnaris. Dieser Muskel ist Leitmuskel für das chirurgische Aufsuchen des Nerven. Beim Verlassen der GUYON'schen Loge teilt sich der Nerv. Der Ramus profundus dringt durch den Ursprung des M. flexor digiti minimi und begleitet den tiefen Hohlhandbogen. Diese Gebilde projizieren sich auf die Basis der Mittelhandknochen (MUMENTHALER, SCHLIACK, ROHEN). Der Ramus profundus innerviert den tiefen Kopf des M. flexor pollicis brevis, den M. adductor pollicis brevis, alle Mm. interossei sowie die Mm. lumbricales III (teilweise) und IV.

Sensibel versorgt der Ramus dorsalis ni. ulnaris, der den Hauptstamm des Nerven etwa in der Mitte des Unterarms verläßt, mit seinen Ästen Nn. digitales dorsales die Haut der Streckseite der ulnaren Hälfte des IV. sowie die Haut des V. Fingers. Das Innervationsgebiet reicht etwa bis zum Mittelgelenk. - Der Ramus cutaneus palmaris durchbohrt im distalen Drittel die Fascia antebrachii und versorgt die ulnare Partie der palmaren Fläche des Handgelenkes sowie den proximalen Hypothenar. - Der Ramus superficialis, der zweite Endast des N. ulnaris, gibt nur einen kleinen motorischen Ast zum M. palmaris brevis ab und teilt sich in seine sensiblen Äste Nn. digitales palmares communes IV und V. Aus diesen entspringen drei Nn. digitales palmares proprii, die die ulnare Hälfte des Ring- und den ganzen Kleinfinger sensibel innervieren. Das Autonomgebiet des N. ulnaris ist der Kleinfinger.

Der obere Reizpunkt für die elektrophysiologische Untersuchung befindet sich hinter dem Sulcus ni. ulnaris, der untere radial vom M. flexor carpi ulnaris. Ableitmuskel für den N. ulnaris ist der M. abductor digiti minimi im Hypothenar sowie der M. interosseus dorsalis I. Die sensible antidrome Ableitung erfolgt vom Kleinfinger.

Die häufigsten Schädigungsorte des N. ulnaris sind der Sulcus ni. ulnaris und der Bereich des Handgelenks. Als Ursachen kommen im Bereich des Sulcus Druck und im Handgelenksbereich das direkte Trauma in Frage. Die Symptomatologie ergibt sich aus der anatomischen Topographie des Nerven. Durch den Ausfall der Metaphalangealbeugung kommt es zu einem Übergewicht der Extensoren mit einer Überstreckung im Grundgelenk und einer Beugung im Mittel- und Endglied der beiden ulnaren Finger ("Krallenstellung"). Der Daumen wird oft wegen des Ausfalls des M. flexor pollicis brevis im Grundgelenk überstreckt. Man bezeichnet dies als "signe de Jeanne" (MUMENTHALER, SCHLIACK, KLOSTERMANN, TISCHENDORF).

Bei einigen Innervationsanomalien steht der N. ulnaris im Vordergrund der Betrachtung.

In seltenen Fällen erfolgt die Innervation des M. triceps durch den N. ulnaris.

Eine sehr wichtige Verbindung zwischen N. ulnaris und N. medianus ist die sog. "MARTIN-GRUBER-Anastomose" am Unterarm, die bei ungefähr 15 % der Bevölkerung vorkommt. Diese Verbindung liegt entweder zwischen den Mm. flexor digitorum profundus und superficialis oder zwischen den beiden Köpfen des M. pronator teres. Dieser Faseraustausch kann sowohl rein sensibel als auch rein motorisch oder auch gemischt sein. Aus dieser Anastomose wird in der Regel der M. flexor digitorum profundus III und IV versorgt. Auch der M. abductor pollicis brevis, die Mm. interossei, die Muskeln des Kleinfingerballens und die M. lumbricales III und IV können aus dieser Anastomose ihre Innervation erhalten. Kommt es nach Durchtrennung des N. ulnaris zu einer überraschend schnellen Rückkehr der Funktion in den genannten Muskeln muß man an das Vorhandensein einer solchen Variation denken (PIZZA-KATZER).

Sowohl der N. ulnaris als auch der N. medianus können allein den M. flexor digitorum profundus versorgen.

Wenn der N. ulnaris diesen Muskel innerviert, versorgt er auch immer den M. flexor pollicis brevis vollständig.

Die Beschränkung der Sensibilitätsausbreitung auf den Kleinfinger ist die häufigste Innervationsanomalie des N. ulnaris.

1.1.3. N. radialis

Der N. radialis entspringt aus den Wurzeln C5 bis C8. Motorisch innerviert er alle Strecker des Armes sowie den M. brachioradialis und den M. supinator. Die Muskeläste für den M. triceps zweigen vom Hauptstamm vor dessen Eintritt in den Sulcus ni. radialis ab. Zwischen M. biceps und brachioradialis gelangt der Nerv zur Fossa cubitalis. Etwas proximal von der Gelenkspalte innerviert er den M. brachioradialis und die Mm. extensor carpi radialis longus und brevis. Anschließend teilt er sich in seine Endäste, den motorischen Ramus profundus und den sensiblen Ramus superficialis. Der motorische Ramus profundus durchbohrt den M. supinator und schlingt sich um das Radiusköpfchen (ROHEN). Am Unterarm versorgt er die restlichen Strecker (M. extensor carpi ulnaris, M. extensor digiti minimi, M. extensor digitorum communis, sowie M. extensor indicis, Mm. extensor pollicis longus und brevis, M. abductor pollicis longus). Der Endast des Ramus profundus, der N. interosseus antebrachii posterior innerviert das Periost von Radius und Ulna sowie das Handgelenk.

Sensibel versorgt der N. radialis mit seinem N. cutaneus brachii posterior die Haut auf der Dorsalseite des Oberarms bis zum Olecranon. - Der N. cutaneus antebrachii posterior, der den Hauptstamm noch im Sulcus ni. radialis verläßt, verzweigt sich in der Haut der Streckseite bis zum Handgelenk.

Der zweite Endast des N. radialis, der Ramus superficialis, tritt im distalen Drittel des Unterarms unter der Sehne des M. brachioradialis hindurch auf die Streckseite und

verzweigt sich auf der Dorsalseite des Handgelenks und des Handrückens. Mit 5 Nn. digitales dorsales versorgt er die Streckseite des Daumens bis zum Endglied, den Zeigefinger im Grundglied und die mediale Hälfte des Mittelfingers (MUMENTHALER, SCHLIACK). Der N. radialis besitzt ein inkonstantes Autonomgebiet über dem Spatium interosseum I und dem I. und II. Metacarpale (MUMENTHALER, SCHLIACK, ROHEN).

Die elektrische Reizung des N. radialis ist schwieriger als die des N. medianus oder des N. ulnaris, da der Nerv in der Tiefe verläuft. Man kann ihn am distalen Rand der radialen Oberarmfurche und dem Ellenbogen zwischen der Sehne des M. biceps brachii und dem M. brachioradialis erfassen. Am Unterarm ist der Nerv gerade noch ca. 8 cm proximal des Processus styloideus ulnaris lateral vom M. extensor carpi ulnaris reizbar. Ableitmuskel für das EMG ist in erster Linie der M. extensor indicis. Sensibel muß man orthodrom ableiten, wobei die Reizung am Daumen und die Ableitung an einer der oben besprochenen Stellen liegt (LUDIN).

Die Möglichkeit der Schädigung des Nerven besteht in der Axilla durch Druck, im Sulcus n. radialis und im Bereich des Radiusköpfchens durch Fraktur und beim Durchtritt durch den M. supinator. Die Radialisparese durch Oberarmfraktur ist nach MUMENTHALER und SCHLIACK mit 7o % die häufigste Nervenläsion durch Knochenbruch. Da die Äste für den M. triceps bereits vorher abgegeben werden, findet man eine Lähmung der Unterarmstrecker und Sensibilitätsstörungen. - Beim Supinatorlogensyndrom findet man keine Sensibilitätsstörungen, da der Ramus superficialis intakt ist. Ebenfalls erhalten bleibt die Funktion der Mm. extensor carpi radialis longus und brevis und des M. brachioradialis. Der Ausfall betrifft somit in erster Linie die Extensoren der Finger und die Abduktion des Daumens.

Durch das Übergewicht der Beuger ist bei einer kompletten

Radialislähmung das Handgelenk extrem gebeugt, der Daumen kann nicht abduziert werden. Es entsteht das Bild der "Fallhand" (ROHEN).

Die meisten Innervationsvariationen des N. radialis finden sich vergesellschaftet mit Variationen des N. thoracodorsalis, da beide Nerven embryologisch dorsalen Ursprungs sind. Mit dem N. ulnaris hat er zwei bemerkenswerte Anastomosen: Am Oberarm tauscht er mit dem Ramus communicans ulnaris ni. radialis und an der Hand mit dem Ramus dorsalis ni. ulnaris Fasern aus.

1.1.4. Spendernerven zur Transplantation

1.1.4.1. N. suralis

Der N. suralis ist ein sensibler Nerv, der aus dem N. tibialis stammt und mit seinen Ästen N. cutaneus dorsalis lateralis die Haut am lateralen Fußrand und mit seinem Ramus calcanei lateralis die Haut der Knöchelgegend und der Ferse versorgt.

Vom N. tibialis zweigt er in der Kniekehle ab, zieht zwischen den beiden Gastrocnemiusköpfen zusammen mit der V. saphena parva abwärts. Dabei bekommt er Zuschuß vom Ramus communicans ni. peronei. Er verläuft unter der Fascie, durchstößt sie an variabler Stelle und liegt dann unter der V. saphena parva, wo man ihn zwischen Achillessehne und Malleolus lateralis aufsuchen kann.

1.1.4.2. Andere Spendernerven

Nach einem Vorschlag MILLESIs kann man neben dem N. suralis auch den N. cutaneus antebrachii medialis, den N. cutaneus femoris lateralis, die Intercostalnerven und gegebenenfalls auch den N. saphenus oder den Ramus superficialis ni. radialis entnehmen. Jedoch sollte es vermieden werden, den N. suralis und den N. saphenus derselben Seite zu entnehmen. Ebenso sollte man nicht den N. cutaneus antebrachii medialis beim Vorliegen einer Ulnarisläsion verwenden.

1.2. Anatomie der Greifformen

Da niemals ein einzelnes Muskel-Sehnenbündel allein tätig ist, sondern die Hand und mit ihr der Arm als Kraftspender im Zusammenhang betrachtet werden muß, soll auf die vier Hauptformen des Griffes und die dafür notwendige Innervation eingegangen werden.

Der G r o b g r i f f, der z.B. beim Anfassen eines Hammerstiels angewandt wird, entsteht durch Beugung der Finger in allen Gelenken. Die Innervation der langen Beuger erfolgt durch den N. medianus, während die Beugung im Grundgelenk durch die Ulnaris innervierte Muskulatur bewerkstelligt wird. Die nötige Opposition und die palmare Abduktion des Daumens erfolgt durch die Medianus innervierten kleinen Daumenmuskeln. Die nötige Stabilität des Griffs ergibt sich aus der Anspannung aller Handgelenksmotoren.

Beim S p i t z g r i f f, der beispielsweise beim Pinzettefassen oder beim Schreiben nötig wird, muß der Daumen in Oppositionsstellung durch die Medianus innervierte Thenarmuskulatur gebracht werden. Einen wichtigen Beitrag leisten die radialen Mm. interossei, die vom N. ulnaris innerviert werden. Die nötige Kraft erhält diese Greifform durch die Stabilisierung des Metaphalange I -Gelenks durch den tiefen Kopf des M. flexor pollicis brevis, den M. adductor und den M. abductor pollicis brevis.

Beim S c h l ü s s e l g r i f f, der, wie der Name schon sagt, beim Anfassen eines Schlüssels ausgeführt wird, preßt man den Daumen gegen die Radialseite des Zeigefingers. Diese Leistung erbringen der M. adductor pollicis und der M. interosseus I, die beide vom N. ulnaris innerviert werden. Der M. interosseus I sorgt für die nötige Stabilität.

Der H a k e n g r i f f, der beim Tragen von Koffern benutzt wird, erfolgt durch Beugung der Finger in den Interphalangealgelenken. Diese Leistung erbringen die

Mm. flexor digitorum profundus und superficialis, die vom N. medianus und N. ulnaris innerviert werden.

1.3. Histologie

In einem gemischten peripheren Nerven verlaufen sensible und motorische Fasern zusammen. Das A x o n, auch N e u r i t genannt, enthält als peripherer Teil des zentralen Zelleibes neben dem Zytoplasma, auch Neuroplasma genannt, die charakteristische Ionenzusammensetzung der Zelle: viel Kalium, wenig Natrium und Chlorid (SCHMIDT, THEWS). Durchzogen wird das Axon von längsverlaufenden parallel zueinander angeordneten Neurofibrillen, Neurotubuli und Neurosomen (BARGMANN, WALLRAFF). Umgeben wird das Axon von der sog. M y e l i n s c h e i d e, deren chemische Zusammensetzung aus einem Eiweißkörper, dem Neurokeratin und einer Lipoidschicht, im wesentlichen Kephaline, Phosphatide, Cerebroside besteht. Lipide und Eiweiß bauen im Wechsel die Markscheide auf. Aufgabe der Myelinscheide ist die Erhöhung der Nervenleitgeschwindigkeit. Je dicker die Myelinscheide ist, desto höher ist auch die Nervenleitgeschwindigkeit. So ist es verständlich, daß motorische Nerven eine besonders dicke Myelinscheide besitzen. Auch die Bezeichnung markhaltig und marklos hängt mit der Dicke der Myelinscheide zusammen, obwohl man betonen muß, daß es keine marklosen Fasern gibt. Die Myelinscheide ist keine durchgehende Röhre, sondern wird von sog. "RANVIER'schen Schnürringen" unterbrochen. An den RANVIER'schen Schnürringen erfolgt die saltatorische Erregungsausbreitung. Der Abschnitt zwischen zwei RANVIER-Knoten ist das "Intraanuläre Segment" (WALLRAFF). In diesem Segment legt sich um das Myelin die SCHWANN'sche Zelle. Man erkennt sie an den abgeflachten Zellkernen, die in wechselnder Seitenlage in der äußeren Zytoplasmahülle liegen (BARGMANN). An den RANVIER'schen Schnürringen liegen die SCHWANN'schen Zellen direkt dem Axon auf. Das Endoneuralrohr als umhüllende Schicht der einzelnen Nervenfasern ist eine

dünne, aber feste Bindegewebsschicht kollagener, longitudinalverlaufender Fasern. Zwischen dem Endoneurium und den SCHWANN'schen Zellen liegt eine zarte, argyrophile Schicht, das Neurolemm (BARGMANN).

Viele dieser bisher beschriebenen Einzelkabel werden in sog. F a s z i k e l n zusammengefaßt. Innerhalb des Faszikels verlaufen die Fasern in Schraubentouren, so daß eine gewisse Dehnung ohne Schädigung toleriert wird. Die Faszikel sind keine statischen Gebilde, sondern tauschen ständig meist spitzwinklig Fasern aus. Die Nervenfasern verlaufen innerhalb des Bündels nicht überall parallel. Sie sind auch nicht nach afferent und efferent getrennt. SUNDERLAND und WALLRAFF sind jedoch der Meinung, daß die Lage eines bestimmten Bündels relativ konstant sei. Es deutet nichts darauf hin, daß die Größe der Faszikel zu ihrem Versorgungsgebiet in einem bestimmten Verhältnis steht.

Die Hülle des Faszikels, das P e r i n e u r i u m, hat einen charakteristischen lamellenartigen Aufbau. Die einzelnen Lagen verlaufen dabei wechselweise zirkulär, schräg und longitudinal. Zwischen den einzelnen Lagen befinden sich Mesothelzellen. Der Innenfläche des Perineuriums schmiegt sich eine sehr dünne Epithelschicht an: das Perineuralepithel. Es ist eine schlauchartige Fortsetzung der Leptomeninx und stellt morphologisch die Diffusionsbarriere, beispielsweise für Pharmaka dar. SUNDERLAND meint, daß das Perineuralepithel außerdem eine Schutzschicht ist, die einen Axonverlust nach außen verhindert.

Die Gesamtheit der vom Perineurium begrenzten Faserbündel liegt in lockeres Bindegewebe eingebettet. Dieses Gebilde bezeichnet man als E p i n e u r i u m (BARGMANN). Stellenweise verdickt sich das Epineurium zu dickeren Lagen vorwiegend zirkulär geordneter elastischer und kollagener Bindegewebsfasern. Das Fett des Epineuriums und das der Myelinscheiden bewirken die charakteristische

gelbe Farbe des Nerven. Die Aufgabe des Epineurium zeigt SUNDERLAND an folgendem Beispiel: Das dickste Epineurium besitzt der N. ischiadicus in der Glutealregion. Das Epineurium, das ein lockeres Bett für die Nervenfasern bildet, federt diese gegen die deformierenden Kräfte ab.

Die Ernährung des Nerven erfolgt über die V a s a n e r v o r u m. Die Gefäße bilden in der gesamten Länge des Nerven durch Aufsplitterung und Reanastomosierung ein ununterbrochenes intraneurales Gefäßnetz. Die Arteriae nervorum entspringen aus den Körperarterien, die sie jedoch nicht an konstanter Stelle verlassen. Sie sind in der Regel recht kurz: im Mittel 5 bis 15 mm, die größten 25 mm, und erreichen den Nerven auf direktem Weg. Schraubentouren sind selten. Ihr Lumen beträgt maximal 1 mm. Im Nerven selbst werden eine oder mehrere längsverlaufende kleine Arterien unregelmäßig von weiteren Gefäßen gespeist, so daß eine Gefäßarkade entsteht. Dieses Netz liegt im Epineurium und kann intraoperativ eine Entscheidungshilfe sein, ob die Struktur ein Nerv oder eine Sehne ist. Von diesen oberflächlichen Arterien, Präkapillaren und Kapillaren zweigen in das Innere des Nerven Gefäße ab, die durch ihre Aufspaltung bzw. Wiedervereinigung intraneurale Plexus bilden. Der venöse Schenkel stellt sich im Prinzip genauso dar, jedoch verlaufen Arterien und Venen nicht immer gemeinsam, was besonders beim Ein- und Austritt der Gefäße zu beobachten ist. Über die im peripheren Nerven verlaufenden Lymphgefäße ist das Wissen noch lückenhaft. Im Epineurium liegt ein Lymphkapillarennetz, das nicht mit dem Perineural- und Endoneuralraum in Verbindung steht. Auch hier erweist sich das Perineurium als die entscheidende Barriere.

Die peripheren Nerven werden von N e r v i n e r v o r u m versorgt, die sympathische und sensorische Fasern führen. Diese Nervi nervorum entspringen dem Nerven und verteilen sich im Epineurium, indem sie Plexus bilden.

2. Pathologie

2.1. Einteilung der Nervenschäden

Die Nervenverletzung wird nach SEDDON in drei Schweregrade eingeteilt:

Die **Neurapraxie** ist die leichteste Form einer peripheren Nervenläsion.Sie entsteht durch Druck auf den Nerven. Das klassische Beispiel einer solchen Lähmung ist die Schlaflähmung. Histologisch handelt es sich um eine umschriebene Demyelinisierung bei erhaltener Kontinuität. Es kommt zu motorischen Ausfällen, da die motorischen Fasern stärker myelinisiert sind als die sensiblen. So können vorübergehend vollständige Lähmungen auftreten. Die Sensibilität ist im Sinne von Parästhesien und Dysästhesien gestört, Lage- und Vibrationsempfinden sind aufgehoben (MUMENTHALER, SCHLIACK). Im EMG finden sich keine Fibrillationspotentiale. Da die Prognose gut ist, erübrigt sich jede Therapie.

Die **Axonotmesis** als mittelschwere Form kommt nach stärkerer Druckeinwirkung zustande. Beispiele für eine solche Lähmung sind die Schädigung des Nerven durch Knochenteile bei Frakturen, Haken bei Operationen oder eine falsch angelegte Blutleere. Die Axonotmesis liegt aber auch bei einer chronischen Druckschädigung des N. ulnaris im Bereich des Sulcus oder beim Karpaltunnelsyndrom vor (MUMENTHALER, SCHLIACK). Histologisch findet man eine Unterbrechung der Kontinuität der Nervenfasern bei erhaltenem Neuralrohr. Im distalen Stumpf erfolgt die WALLER'sche Degeneration. Die sich anschließende Regeneration vollzieht sich unter idealen Bedingungen: Die auswachsenden Fasern benützen die Endoneuralrohre als Leitbahnen. Diese Form der Regeneration bezeichnet man als "isomorphe Neurotisation". Klinisch findet man einen Ausfall aller Funktionen. Diese Symptomatik kann für Wochen und Monate bestehen bleiben. Im allgemeinen genügt hier eine konservative Therapie.

Die schwerste Form der Nervenschädigung ist die N e u r o t m e s i s. Hier ist sowohl die Kontinuität des Nerven als auch diejenige seiner Hüllen unterbrochen. Als Ursachen kommen Zerreißungen, Schnitt- und Stichverletzungen in Frage. Als besonders wichtig ist anzumerken, daß die auswachsenden Fasern irregulär in den distalen Stumpf einwachsen. Die Bedeutung dieser "heteromorphen Neurotisation" besteht darin, daß eine Restitutio ad integrun nicht erwartet werden kann. Bei dieser Form ist ausschließlich operative Therapie notwendig.

Bei einer Untergruppe, der partiellen Neurotmesis, fällt nicht das ganze Versorgungsgebiet des betroffenen Nerven, sondern hur ein Teil aus. Es ist auch möglich, daß nur der motorische Anteil betroffen ist. Therapeutisch ändert sich nichts an der Operationsindikation.

2.2. Stadium der Degeneration

Wenn man die Vorgänge der sekundären Degeneration verstehen will, muß man neben dem peripheren Schaden auch den zentral gelegenen Zelleib betrachten. In den ersten 14 Tagen nach Schädigung seines peripheren Anteils vergrößert sich der zentrale Zelleib. Dabei läßt sich ein erhöhter RNA-Umsatz feststellen, der die erhöhte Proteinsynthese anzeigt. Die Eiweißproduktion wird dabei bis zu 8o % gesteigert. Ein Viertel des produzierten Eiweißes gelangt mit dem schnellen, der Rest mit dem langsamen Axoplasmastrom in die Peripherie. Dieser erhöhte Proteinumsatz soll den Schaden ausgleichen. Es ist verständlich, daß ein großer Substanzverlust die metabolischen Verhältnisse der Zelle überschreitet und eine Regeneration unmöglich machen kann (GRABB).

Aufgrund des fehlenden Axoplasmastromes und dem damit verbundenen Mangel an Substanzen kommt es nach Durchtrennung im distalen Nervenanteil zu Veränderungen an Achsenzylinder und Myelinscheide: Die Kontur des Axons wird unregelmäßig, und die primäre Anfärbbarkeit geht

verloren (MUMENTHALER, SCHLIACK). Im Innern geht die Fibrillierung verloren, und es treten umschriebene Schwellungen auf (BARGMANN). Der tropfige Abbau setzt ca. zehn Tage nach der Verletzung ein. Die Markscheiden zerfallen bereits nach 24 Stunden in größere Einzelfragmente. Diese Fragmente wandeln sich ungefähr nach zwei Wochen in Markballen um. Diese Markballen bilden sog. "Verdauungskammern" oder "Ovoide". Der Nachweis von Markballen gelingt lichtmikroskopisch durch Färbung mit Chrom-Osmiumsäure. Dieses Stadium bezeichnet man als "MARCHI-Stadium".

Die Marklipide werden in den SCHWANN'schen Zellen zu Neutralfetten umgewandelt. Daneben beteiligen sich auch Histiozyten an der Fettresorption. Sie sind als "Fettkörnchenzellen" auch außerhalb des Endoneuralrohres und perivaskulär nachweisbar. Der ursprüngliche Verlauf der zerstörten Nervenfasern läßt sich durch Fettfärbung mit Sudan III oder Scharlachrot sichtbar machen. Man bezeichnet dieses Stadium entsprechend der Färbung auch als "Scharlachrotstadium". Es tritt etwa vier Wochen nach der Verletzung auf (BARGMANN, MUMENTHALER, SCHLIACK).

Die beschriebenen Veränderungen haben ihren Höhepunkt in der zweiten und dritten Woche und sind normalerweise nach fünf bis acht Wochen beendet. Sie können jedoch bis zu zwei Jahren dauern (SEDDON).

Vom vierten postoperativen Tag an kommt es zu zahlreichen Mitosen und Zellproliferationen in den SCHWANN'schen Zellen. Sie bilden dadurch die typischen Verbände der "HANKE-BÜNGNER'schen Bänder". Ist der Abstand zwischen den beiden Nervenstümpfen zu groß, geht die leere und geschrumpfte SCHWANN'sche Scheide in einen "Wartezustand" über. Dabei ist zu beachten, daß die anfangs dilatierten Endoneuralrohre schrumpfen und das kollagene Bindegewebe an Masse zunimmt. Nicht beteiligt an den degenerativen Prozessen sind das Endoneuralrohr und die Blutgefäße.

Im proximalen Nervenanteil vollzieht sich die sog. "traumatische Degeneration". Im Gegensatz zur

WALLER'schen Degeneration reicht sie in der Regel nur bis zum nächsten RANVIER-Knoten. Im Frühstadium findet sich eine starke Achsenzylinderauftreibung, die als "primäre Fasererkrankung" bezeichnet wird (MUMENTHALER, SCHLIACK). Vom dritten Tag an kommt es zu Abbauerscheinungen verbunden mit einer Proliferation der SCHWANN'schen Zelle und einem Ödem. Abgelöst wird dieses Stadium etwa im dritten Monat nach der Verletzung durch eine langsam fortschreitende Atrophie.

Im Gegensatz zur scharfen Durchtrennung erklärt sich bei einem stumpfen Nerventrauma die Veränderung durch ein Ödem, das sich sowohl innerhalb des Nerven als auch in seiner Umgebung ausbildet. Reaktiv kommt es zur intraneuralen Fibrose mit Verdickung des Epi- und Perineuriums. Die Fibrose ihrerseits bedingt eine gestörte Nervenfunktion. Um die Kompression zu beseitigen, ist eine Neurolyse, eine Spaltung von Epi- und Perineurium, erforderlich.

2.3. Stadium der Regeneration

Die Regenerationsphase kann von der Degeneration nicht isoliert betrachtet werden. Die Regeneration beginnt noch ehe die zerfallenen Zelltrümmer phagozytiert sind (V. BEEK). Voraussetzung für die Regeneration ist die intakte zentrale Nervenzelle (BROWN). Die Gefahr, daß es durch Erschöpfung der Zelle zu einer mangelnden Regeneration kommt, ist bei distalen Läsionen kleiner als bei proximalen (PLONCARD).

Nach Durchtrennung des Nerven wird die Lücke zunächst mit seröser Flüssigkeit und Blutkoageln aufgefüllt. Die Fibrinfasern dieser Masse ordnen sich aufgrund der longitudinalen Spannungsverhältnisse in Längsrichtung an. Sie bilden Leitstrukturen für das Auswachsen der Axone. Neben den Fibrinfasern können auch die bereits beschriebenen HANKE-BÜNGNER'schen Bänder und nicht durchtrennte Nervenfasern als Leitschiene dienen. Auch die SCHWANN'schen Zellen des distalen Stumpfes können proliferieren

und stehen nach Vereinigung mit dem proximalen Stumpf als Leitstruktur zur Verfügung (YOUNG). Nach MUMENTHALER und SCHLIACK führen die parallelen Leitstrukturen nicht nur zu einem geordneten Axonwachstum, sondern verhindern auch das Eindringen von Bindegewebe aus der Umgebung.

Die Axone verhalten sich wie eine visköse Flüssigkeit und fließen aus dem proximalen Stumpf aus (SEDDON, YOUNG). Sie bilden in den proximalen Stümpfen sog. "Wachstumskegel". Diese sind durch Pseudopodien mit amöboider Bewegung gekennzeichnet. WEISS bezeichnet den Wachstumsvorgang als physikalisch mit amöboider Bewegungskomponente. Aus den Pseudopodien bilden sich mehrere Axonstränge, die als neue Fasern vorwachsen.

Bei der Regeneration sieht man zunächst dünne Achsenzylinder ohne Myelin. Die Myelinisierung erfolgt in den ersten Wochen nach Durchtrennung (V. BEEK), wobei die Dicke der Myelinscheide geringer ist als vor der Läsion (SEDDON). Es besteht auch kein regelmäßiger Abstand zwischen den RANVIER-Knoten mehr.

Bei der frühen Reinnervation treten die Nerven mit den alten Endplatten der Muskeln in Kontakt und stellen so eine völlige Wiederherstellung sicher.

Pro Tag wächst der Nerv ungefähr 1 bis 2 mm (SEDDON, SUNDERLAND, YOUNG).

Wird ein Teil der auswachsenden Axone durch ein Zwischengewebe abgelenkt, bildet sich ein Neurom. Histologisch findet man konvultartig verfilzte Axone, an deren Oberfläche sich SCHWANN'sche Zellen befinden. Fibroblasten und Blutgefäße vervollständigen das Bild. Umschlossen wird das Neurom entweder durch eine Schicht Epineuralgewebe, oder es ist fest mit der Umgebung verwachsen. Charakteristisch für ein Neurom ist das Fehlen von Endoneuralscheiden und Faszikeln (MUMENTHALER, SCHLIACK).

2.4. Histopathologie des Nerventransplantats

Die autologen Transplantate sind den homologen nicht nur wegen der fehlenden Fremdkörperreaktion vorzuziehen. In einem autologen Transplantat bleibt das faszikuläre Muster erhalten. Die SCHWANN'schen Zellen überleben und ordnen sich ebenfalls zu HANKE-BÜNGNER'schen Bändern an (MILLESI). Die SCHWANN'sche Scheide wird von den aussprossenden Achsenzylindern zum Wachstum benötigt. Die dazu nötigen physikalisch-chemischen Eigenschaften sind unbekannt (PETROV). Im Transplantat vollzieht sich die WALLER'sche Degeneration. Nach SAMIIs tierexperimentellen Erfahrungen besteht dabei kein Unterschied zwischen frischen Transplantaten und solchen, bei denen die WALLER'sche Degeneration bereits abgeschlossen ist. Die sich regenerierenden Axone treffen auf ideale Voraussetzungen und wachsen schnell aus (MILLESI). Es ist dabei zu beachten, daß das Transplantat nicht selbst als Ersatz, sondern als Leitschiene dient (MILLESI, MELLEROWICZ, TERZIS). MILLESI weist besonders darauf hin, daß beide Nahtstellen in einem Zug durchwachsen werden.

Bei homologen Transplantaten fand man nach Regeneration an der proximalen Nahtstelle ein deutliches Neurom. Im mittleren Drittel des Implantats beherrschte gefäßreiches Bindegewebe das Bild, und im distalen Stumpf waren keine Axone mehr nachweisbar (K. WILHELM). Dieses Ergebnis rechtfertigt im Moment die Ablehnung von Implantaten.

2.5. Histopathologie des Muskels

Um die Vorgänge im Spätstadium der Nervenregeneration besser verstehen zu können, soll hier kurz auf die Vorgänge im denervierten Muskel eingegangen werden.

Nach Durchtrennung des Nerven tritt eine Muskelatrophie auf. ERBSLÖH und HAGER führen dies auf eine energetische Insuffizienz zurück, die zu Eiweißabbau führt. Die Atrophie beginnt nach zwei bis drei Wochen. Nach vier

bis sechs Wochen ist sie makroskopisch sichtbar und erreicht ihr Gewichts- und Volumenminimum nach acht bis elf Wochen.

Im Anfangsstadium der Muskeldegeneration findet man eine Vermehrung der Myofibrillen bei gleichzeitiger Kernproliferation. Eine Regeneration ist möglich, solange die Muskelzellen als atrophische Faserbündel oder myogene Riesenzellen vorhanden sind. Diese Faserbündel bezeichnet man auch als "WALDEYER'sche Bänder". Zu diesem Zeitpunkt ist eine Erregung über die alten Endplatten nicht mehr möglich, da die T-Kanäle bereits verschlossen sind. Die aussprossenden Nervenfasern bilden auf der Muskelfaser endplattenähnliche Strukturen. Diese neugebildeten Endplatten sind jedoch funktionell nicht vollwertig. Im Endstadium der Muskeldegeneration ist eine Reinnervation unmöglich, da ein sklerotischer bzw. lipomatös-sklerotischer Umbau stattgefunden hat.

3. Grundlagen der Elektrophysiologie

Das Potential in einem nicht pathologisch veränderten Muskel ist in der Elektrophysiologie im Gegensatz zum experimentellen Aktionspotential triphasisch, weil die Ableitelektroden außerhalb des Nerven liegen. Ein Ruhepotential kann im EMG nicht erfaßt werden, da es zu keiner Spannungsänderung zwischen differenter und indifferenter Elektrode kommt. Läuft eine Erregung über den Nerven, kommt es nach der Strömchentheorie zu einer Potentialänderung: Das erregte Gebiet wird gegenüber dem unerregten positiv. Der Kathodenstrahl auf dem Bildschirm wird nach unten ausgelenkt. Beim Passieren der Erregung an der Elektrode kommt es zu einer raschen Umpolung, die auf dem schnellen Na^+-Ionenstrom beruht. Die korrespondierenden negativen Anionen bleiben extrazellulär zurück und bewirken die Negativität. Ein negatives Potential äußert sich im EMG in einer Auslenkung des Strahls nach oben. Der zellauswärtsgerichtete K^+-Ionenstrom der Repolarisationsphase bringt seinerseits

eine positive Umpolung.

Nach Durchtrennung des Nerven treten im Muskel nach zwei bis drei Wochen Fibrillationspotentiale und positive Wellen auf. Im Gegensatz zu den monophasischen positiven Wellen sind Fibrillationspotentiale di- und triphasisch. Von Endplattenpotentialen unterscheiden sich diese durch ihren positiven Abgang von der Grundlinie. Die Dauer der positiven Wellen beträgt ungefähr 4,2 ms und ihre Amplitude durchschnittlich 100 μV. Fibrillationspotentiale haben bei gleicher Amplitudengröße eine durchschnittliche Dauer von 1 bis 5 ms.

Fibrillationen erklärt SEDDON mit einer kleinen Menge Acetylcholins, die auf den denervierten Muskel wirkt. LUDIN sieht als Ursache für die Fibrillationspotentiale und positiven Wellen eine Instabilität der Muskelmembran.

Zahl und Frequenz von Fibrillationen können entweder durch Erwärmung der Extremität oder durch Prostigmin erhöht werden (SEDDON). Umgekehrt senkt eine Abkühlung die Zahl der Fibrillationspotentiale (LUDIN).

Positive Wellen erklärt LUDIN durch einen Block der Erregungsleitung, wobei die positiv-negative Umpolung des normalen Musters, d.h. die schnelle Phase des Aktionspotentials fehlt.

Fibrillationspotentiale und positive Wellen sind nicht spezifisch für Nervendurchtrennungen, sondern können auch bei neurologischen Erkrankungen auftreten.

Eine weitere Aussage gestattet das Aktivitätsmuster. In einem gesunden maximal innervierten Muskel ist das Muster dicht bei einer relativ hohen Amplitude. Im denervierten Muskel ist das Aktivitätsmuster auch bei maximaler Muskelanspannung gelichtet. Die Analyse der Dichte läßt einen Rückschluß auf die Zahl der motorischen Einheiten zu, die rekrutiert werden können. Die nach Reinnervation auftretenden hohen Amplituden lassen sich durch eine Kollateralaussprossung erklären,

bei der die einzelne Nervenfaser mehrere Muskelfasern innerviert.

Das Bild der beginnenden Reinnervation ist gekennzeichnet durch sehr kurze Potentiale die sich noch erschöpfen und polyphasisch sind. Diese Erschöpfung wird mit einer Ermüdung des Acetylcholinsystems bei der Erregungsüberleitung Nerv-Muskel an der motorischen Endplatte erklärt.

Im fortgeschrittenen Regenerationsstadium werden die Amplituden höher, und die Potentialdauer verlängert sich. Die Amplitudenhöhe beträgt dabei nicht selten 7 mV und mehr. Die in dieser Phase auftretende Polyphasie wird von LUDIN, SEDDON und SUNDERLAND mit einer kollateralen Aussprossung des Nerven erklärt, der ein Muskelareal mitversorgt. Die Erregung wird dabei zunächst asynchron auf den Muskel übertragen. Durch den Ausfall von Muskelfasern treten die übrigen Fasern stärker hervor. Polyphasie ist jedoch kein spezifisches Zeichen für einen sich regenerierenden Nerven, sondern kann in jedem neurologisch veränderten Muskel auftreten. Im EMG findet man eine Besserung bis zu 15 Monaten nach der Operation (BALLANTYNE). Der Autor findet keinen Hinweis, daß das Alter oder die Operationstechnik einen Einfluß auf das Ergebnis im EMG haben.

Das EMG stellt eine wichtige Entscheidungshilfe bei der Frage dar, ob eine Neurapraxie oder Axonotmesis oder Neurotmesis vorliegen. Bei einer Neurapraxie kann man den Nerven distal der Verletzungsstelle reizen, außerdem fehlen die Fibrillationen. Bei Axonotmesis und Neurotmesis findet man Fibrillationen, und man ist nicht mehr in der Lage, eine Reizantwort distal abzuleiten.

Eine verzögerte Leitungsgeschwindigkeit, wie sie bei den meisten regenerierten Nerven zu finden ist, wird durch eine Läsion der Markscheiden hervorgerufen. Dennoch muß man sich davor hüten, eine verlängerte Leitungsgeschwindigkeit mit einer Markscheidenverletzung gleichzusetzen. LUDIN weist dabei besonders auf primär

axonale Schädigungen hin. In den meisten Fällen von Nervendurchtrennungen finden sich bereits deutliche Verlängerungen der distalen Latenz.

4. Präoperative Diagnostik

Die Diagnose einer Nervendurchtrennung muß in den ersten Tagen klinisch gestellt werden. Bereits aus der Vorgeschichte kann man durch den Unfallmechanismus und die Klagen des Patienten verwertbare Informationen erhalten. Auch aus der Topographie der Verletzung läßt sich oft eine Läsion vermuten, im Extremfall kann man die Nervenenden in der Wunde sehen.

Zur Diagnose gehört nach BUCK-GRAMCKO die Beurteilung der Sensibilität, der Motorik und der trophischen Störungen. Grundsätzlich erfolgt jede Beurteilung im Rechts-Links-Vergleich.

Die Sensibilitätstestung erfolgt im Nervenautonomgebiet. Dies kann bei einem Frischverletzten, der noch unter dem Eindruck des Unfallgeschehens steht, sehr schwierig bzw. unmöglich sein. Aus dem gleichen Grund kann auch die ZPD unmöglich sein, die jedoch versucht werden sollte.

Bei der Testung der Motorik benützt man den Funktionsausfall bestimmter Kernmuskeln. Schwierig kann dies bei älteren Läsionen werden, bei denen der Patient gelernt hat, den Ausfall mit bestimmten Trickbewegungen zu kompensieren.

Bei älteren Läsionen tritt die gestörte Trophik stärker in den Vordergrund. Unmittelbar nach Durchtrennung wird die Haut heiß und trocken. Nach wenigen Wochen wird sie kühl (SEDDON). Daneben findet sich eine livide Hautverfärbung und das ALFÖLDI'sche Fingerzeichen mit Abflachung der Papillarleisten der Fingerbeere (WOLLSCHLÄGER).

Die Elektromyographie und Elektroneurographie können ihren Beitrag zur Diagnose nach ca. zwei Wochen leisten.

Sie ermöglichen die Differentialdiagnose zwischen Neurapraxie und den schweren Schäden. Der zweite wichtige Grund für die Durchführung einer elektrophysiologischen Untersuchung ist, eine Grundlage für postoperative Kontrollen zu erhalten.

IV. INDIKATIONSSTELLUNG, OPERATION UND NACHBEHANDLUNG

1. Operationsindikation

Die Indikation zur Nervenoperation ist nur bei Patienten mit einer Neurotmesis eindeutig. Wenn die Differentialdiagnose zu den beiden anderen Schädigungsformen auch nach EMG-Untersuchung unklar ist, sehen wir eine Indikation zur operativen Revision. In diesen Fällen kann man intraoperativ entscheiden, ob man dem Patienten mit der Nervennaht oder der Neurolyse helfen kann.

Steht das zu erwartende Ergebnis nicht in angemessenem Verhältnis zum Aufwand, beispielsweise, wenn der sensible Ramus superficialis n. radialis durch ein Nerventransplantat versorgt werden müßte, ist die Operation nicht indiziert. Bei schweren pathologischen Muskelveränderungen schlagen wir dem Patienten zur Kraftgewinnung eine Ersatzoperation vor. Einem Patienten in fortgeschrittenem Alter sollte man eine so aufwendige Operation nicht zumuten.

2. Instrumentelle Voraussetzungen

An ein Operationsmikroskop stellt BIEMER folgende Forderungen:

1.) eine gute Beweglichkeit und ausreichenden Abstand vom Operationsfeld
2.) biokulares Sehen möglichst für Operateur und Assistenten
3.) gleichmäßig und gut beleuchtetes Operationsfeld

Wir benützen ein Mikroskop der Fa. ZEISS, dessen Vergrößerung von sechs- bis 30fach reicht. Die Faseroptikbeleuchtung gewährleistet ein helles Operationsfeld. Darüberhinaus verhindert diese Optik ein schnelles Austrocknen des Operationsfeldes. Eine Änderung der Vergrößerung oder der Scharfeinstellung ist über eine Fußbedienung möglich. Intraoperative Positionsveränderungen sind dem Operateur durch sterilisierbare Gummigriffe möglich.

Der Einsatz eines Operationsmikroskopes bedeutet nach EDSHAGE für die Chirurgie der peripheren Nerven folgende Vorteile:

1.) das Faszikelmuster kann leichter identifiziert werden
2.) man kann leichter eine Naht legen, ohne den Faszikel zu durchbohren
3.) bei Teildurchtrennungen ist man in der Lage, genau zu bestimmen, welche Faszikel zu nähen sind und welche geschont werden müssen
4.) weitere iatrogene Schäden können vermieden werden

Mit der Entwicklung des Operationsmikroskops erfolgte die Abkehr von den groben Instrumenten. Inzwischen gibt es eine Vielzahl von Mikroinstrumenten. Stellvertretend soll die Federschere nach MILLESI genannt werden, deren Blattfederverschluß ein gleichmäßiges Arbeiten ermöglicht. Diese feinen Instrumente bedürfen einer besonderen Sorgfalt. Nach Gebrauch sollten sie auf Mull abgelegt werden. Sie dürfen auf keinen Fall "abgeworfen" werden. Unmittelbar nach Gebrauch sollten sie gereinigt und sterilisiert werden. Für die Aufbewahrung empfiehlt sich ein Sterilisier- und Bereitschaftsbehälter mit einem Lagerungsrack, den die Industrie für Mikroinstrumente anbietet. Es versteht sich von selbst, daß diese feinen Instrumente gesondert von dem sonstigen Instrumentarium gesäubert und sterilisiert werden müssen.

Zur Blutstillung verwendet man Mikrothermie und Mikrotupfer.

Zur Naht verwenden wir atraumatisches Nahtmaterial 10 x 0 oder 11 x 0 Nylon oder Vicryl(R), das eine Dicke von 25 μ hat.

3. Operationstechnik

Die Operation wird nach ausreichender Anaesthesie in Blutleere durchgeführt. Eine Operation ohne Blutleere entspricht nicht den chirurgischen Grundforderungen (BUCK-GRAMCKO). Nach Darstellung des Nerven muß der

Operateur entscheiden, ob er eine direkte End-zu-End-Naht oder eine Transplantation durchführen will. Für beide Arten gilt grundsätzlich, daß sie erst nach Versorgung der Begleitverletzungen und schonender Präparation des umliegenden Gewebes durchgeführt werden.

Die D i r e k t n a h t wird bei glatten Schnittverletzungen durchgeführt. Nach Abpräparation des Epineuriums Aufteilen in Faszikelbündel und Anfrischen im Gesunden erfolgt die perineurale oder interfaszikuläre Naht. Die anschließende Ruhigstellung erfolgt entsprechend der geringsten Nahtspannung, beispielsweise in 20° Volarflexion beim N. medianus.

Lassen sich die Nervenenden nicht spannungsfrei adaptieren, wird die i n t e r f a s z i k u l ä r e a u t o l o g e N e r v e n t r a n s p l a n t a t i o n vorgenommen. Man inzidiert proximal der Durchtrennungsstelle und präpariert auf den Stumpf zu. Die einzelnen Faszikelgruppen isoliert man, indem man entlang der vorgegebenen Spalten in die Tiefe geht. Der proximale Nervenstumpf wird angefrischt und ein Teil des Epineuriums entfernt. In gleicher Weise wird der distale Stumpf präpariert. Um die korrespondierenden Faszikel zu bestimmen, ist es oft hilfreich, eine Skizze anzufertigen. Dadurch läßt sich der Fehler vermeiden, daß man einen sensiblen Faszikel an einen motorischen adaptiert und umgekehrt. Nach mikrokoagulatorischer Blutstillung wird die Blutleere so lange geöffnet, bis die reaktive Hyperämie abgeklungen ist.

In der Zwischenzeit wird das Transplantat, in der Regel der N. suralis entnommen. Man legt ihn durch eine 2 bis 3 cm lange Querinzision hinter dem äußeren Knöchel frei. Die oben liegende V. saphena parva wird nach hinten gehalten. Um einen möglichst langen Spendernerven zu erhalten, präpariert man stumpf nach distal. Nach proximal verfolgt man den Nerv, indem man ihn nach leichtem Zug unter der Haut palpiert. Man inzidiert noch drei- bis sechsmal, erfaßt

dabei die abgehenden Hautäste und isoliert den Nerv unter Sicht. An der am weitesten proximal gelegenen Inzision in der Regio poplitea wird der Nerv entnommen. Aufgrund des variablen anatomischen Zuschusses des N. suralis aus dem N. peroneus lehnen wir eine Entnahme mit dem Stripper ab.

Der entnommene Nerv wird in Einzelstücke zergliedert, die ca. 1o bis 15 % größer sein sollten als der zu deckende Defekt. Wir benützen dazu eine Schere mit speziellem Wellenschliff. Die Entfernung des Epineuriums ist unnötig, da die Bindegewebsproliferation erst nach wiedergewonnener Zirkulation beginnen kann.

Das so vorbereitete Transplantat wird in die Lücke eingepaßt. Dabei ist auf Spannungsfreiheit auch bei gestreckten Gelenken zu achten. Man adaptiert mehrere Faszikelgruppen mit dem Transplantat (=interfaszikuläre Adaptation) oder große Faszikel, deren Durchmesser dem N. suralis entsprechen, direkt mit dem Transplantat (=faszikuläre Adaptation). Die Adaptation erfolgt mit Einzelknopfnähten bei sparsamem Verbrauch von Nahtmaterial. Die natürliche Fibringerinnung sichert innerhalb kurzer Zeit die Festigkeit. Für die Adaptation des N. medianus und des N. radialis sind vier bis sechs, für den N. ulnaris drei bis vier Transplantate notwendig.

Der Arm wird im Anschluß an die Operation in Mittelstellung der Gelenke für drei Wochen im Gipsverband ruhiggestellt.

4. Postoperative Komplikationen

Im Anschluß an die Operation können folgende Komplikationen auftreten, die das Ergebnis in Frage stellen: Im Operationsgebiet können sich Hämatome entwickeln, die sofort operativ beseitigt werden müssen. An der Haut können sich Nekrosen bilden, die abgetragen und durch Hautlappen gedeckt werden müssen. Entsteht an der Entnahme-

stelle des Spendernerven ein schmerzhaftes Amputationsneurom, ist die Entfernung unbedingt erforderlich.

5. Nachbehandlung

Alle nicht ruhiggestellten Gelenke läßt man von Anfang an aktiv bewegen. Die Übungen müssen konsequent durchgeführt werden. Es hat sich als nützlich erwiesen, den Patienten aufzufordern, jede volle Stunde diese Gelenke in ganzem Umfang durchzubewegen. Zur Funktionserhaltung lassen wir auch passive Übungen anwenden, die vorsichtig von einer geschulten Krankengymnastin ausgeführt werden. Nach Entfernung des Gipses kann man den Patienten, wie MOBERG und NIGST es vorschlagen, Übungen im warmen Wasser machen lassen.

Wir weisen den Patienten an, auch die Sensibilität zu trainieren. Zunächst muß der Patient die Qualität spitz und stumpf lernen. Bewährt haben sich für diesen Zweck aufgebogene Büroklammern.

Um die Zweipunktediskrimination zu trainieren, muß der Patient Muttern, Schrauben oder Büroklammern auflesen. Diese Übungen muß der Patient zu Hause ohne Krankengymnastin ausführen, und er sollte damit nicht aufhören, bis sich die Zweipunktediskrimination nahezu normalisiert hat.

V. KRANKENGUT

Zwischen dem 1. Januar 1972 und dem 1. Juli 1977 wurden vom Handchirurgischen Dienst der Chirurgischen Universitätsklinik Würzburg 84 Patienten mit insgesamt 98 Nervenstammverletzungen operativ versorgt. In der Zeit von 1972 bis 1974 wurden zusätzlich 36 Fingernerven operiert, über die WOLLSCHLÄGER berichtet.

Von den 84 Patienten mit Nervenstammverletzungen waren 63 männlichen und 21 weiblichen Geschlechts. In 56 Fällen war die rechte, in 42 Fällen die linke Seite betroffen. Das Alter zum Zeitpunkt der Verletzung betrug im Durchschnitt 26,7 Jahre. Der jüngste Patient war 1 1/4, der älteste 63 Jahre.

Zur Nachuntersuchung kamen 63 Patienten mit 77 Verletzungen, 46 Knaben und Männer und 17 Mädchen und Frauen. Bei diesen Patienten war 39mal die rechte und 38mal die linke Seite betroffen. Das Mindestintervall zwischen Operation und Nachuntersuchung betrug zwei Jahre.

Das kürzeste Transplantat, das eingefügt werden mußte, war 1 cm, das längste 23 cm. Die Gesamtlänge aller Transplantate, die in dem der Nachuntersuchung zugrunde liegenden Zeitraum eingepaßt wurden, beträgt 1o,o3 m.

Als Ursachen fanden sich:

Glasschnittverletzung	4o	47,6 %
Suizidversuch	14	16,6 %
Verkehrsunfall	9	1o,7 %
Arbeitsunfall	7	8,3 %
häuslicher Unfall	4	4,8 %
Steine	3	3,6 %
Schnittverletzung durch Porzellanscherben	2	2,4 %
Kreissägenverletzung	1	1,2 %
ärztlicher Eingriff	1	1,2 %
Sonstiges	3	3,6 %

An Begleitverletzungen fanden sich:

Sehnendurchtrennungen	3o	3o,3 %
Gefäßdurchtrennungen	14	14,2 %
Frakturen insgesamt Humerus 4 ; Ulna 4 ; Radius 3	11	11,2 %
Lähmung des Plexus brachialis	2	2,4 %
ausgedehnter Hautdefekt	1	1,2 %

Ort der Verletzung

Hohlhand	4	4,7 %
Handgelenk	47	55,9 %
Unterarm	2o	23,8 %
Oberarm	9	1o,7 %
Ellenbogen	3	3,8 %

Übersicht über die einzelnen Nerven

A) N. m e d i a n u s

Gesamtzahl der Verletzten	57	Nachuntersucht	42
direkte Naht	2o		18
Transplantat	37		24

B) N. u l n a r i s

Gesamtzahl	37	Nachuntersucht	28
direkte Naht	11		7
Transplantat	26		21

C) N. r a d i a l i s

Gesamtzahl	5	Nachuntersucht	5
direkte Naht	1		1
Transplantat	4		4

D) N. p e r o n e u s

Gesamtzahl	1	Nachuntersucht	o
direkte Naht	1		

E) N. i n t e r o s s e u s

Gesamtzahl	1	Nachuntersucht	1
direkte Naht	1		

VI. UNTERSUCHUNGSMETHODEN

1. Vorgeschichte

Im einleitenden Gespräch sollten sich die Patienten zur Einsatzfähigkeit des Arms und der Hand äußern, Beschwerden angeben und über ihre eigenen Bemühungen der Rehabilitation berichten. Ein besonderes Augenmerk richteten wir auf unbemerkte Verletzungsfolgen, z.B. Verbrennungen an den Fingerkuppen.

2. Klinische Untersuchung

Die sich anschließende klinische Untersuchung erfolgte nach den Gesichtspunkten der peripheren Neurologie. Wichtig war dabei der Vergleich zwischen gesunder und verletzter Seite. Bei beidseitigen Verletzungen wurde als Erfolgskriterium die bessere Seite benutzt.

2.1. Sensibilität

2.1.1. Sensibilitätsprüfung

Das S c h m e r z e m p f i n d e n wurde durch Aufsetzen einer Nadelspitze geprüft. Der Patient wurde aufgefordert zu bestimmen, ob er das spitze oder das stumpfe Ende der Nadel spüre. Um der von MUMENTHALER angegebenen Fehlerquelle zu begegnen, daß man die Nadel zwischen zwei Schmerzpunkte aufsetzt, kniffen wir jeden Patienten darüberhinaus leicht in das entsprechende autonome Gebiet und prüften so zusätzlich das Schmerzempfinden.

Die B e r ü h r u n g s q u a l i t ä t ergab sich durch Bestreichen des autonomen Gebietes durch die Hand des Untersuchers oder mit einem kleinen Pinsel.

Nach diesen beiden Untersuchungen zeigte sich bereits eine Parästhesie oder eine Hyperästhesie.

Das K ä l t e e m p f i n d e n wurde mit kaltem und warmem Wasser geprüft.

Schutzsensibilität wurde nach einem Vorschlag MILLESIs angenommen, wenn Schmerz-, Berührungs- und Temperaturempfinden zurückgekehrt war.

Das V i b r a t i o n s e m p f i n d e n wurde mit einer Stimmgabel der Frequenz 128 Hz geprüft. Dazu wurde die Stimmgabel vergleichend in den verschiedenen Arealen der einzelnen Nerven aufgesetzt und wieder mit der unverletzten Seite verglichen.

Zur Testung der Z w e i - P u n k t e - D i s k r i m i n a t i o n (ZPD) nach WEBER wurde nicht der übliche Stechzirkel mit den stumpfen Enden, sondern der Zweipunkte-Stern nach GREULICH verwendet. Der Patient wurde aufgefordert, mit geschlossenen Augen zu bestimmen, ob er ein oder zwei Spitzen fühle. Zur exakten Bewertung ist eine mehrmalige Durchführung notwendig. Die Untersuchung muß in regelloser Folge im autonomen Gebiet erfolgen. Ein ausreichendes Ergebnis wurde angenommen, wenn sieben von zehn Proben richtig erkannt wurden (BUCK-GRAMCKO). Als Normwerte wurden nach BUCK-GRAMCKO und POECK 4 mm an den ersten beiden Fingern, 4 bis 6 mm an den Fingern III bis IV, 5 bis 8 mm in der Hohlhand, 6 bis 9 mm an den Fingerstreckseiten und 7 bis 12 mm am Handrücken angenommen.

2.1.2. Sensibilitätstests

Im Laufe der Untersuchung kam der Sandpapier- und der Münztest nach SEDDON ergänzend hinzu.

Beim S a n d p a p i e r t e s t läßt man den Patienten mit geschlossenen Augen bestimmen, welches der sechs angebotenen Papiere das zweit- oder drittrauheste ist.

Beim M ü n z t e s t nach SEDDON läßt man den Patienten bestimmen, ob er ein Fünfzigpfennig-Stück am geriffelten Rand von einem etwa gleich großen Fünfpfennig-Stück, das einen glatten Rand hat, unterscheiden kann.

Bei Verletzungen des N. medianus kamen grundsätzlich

zwei weitere Tests hinzu.

Mit Hilfe des A u f l e s e t e s t s nach MOBERG kann man eine verminderte Sensibilität beim Präzisionsgriff aufdecken. Der Patient wird aufgefordert, innerhalb einer bestimmten Zeit, die mit der Stoppuhr im Seitenvergleich ermittelt wurde, eine Reihe kleiner Gegenstände, wie sie z.T. auch im Alltagsleben vorkommen, in eine kleine Schachtel zu sammeln. Bei unserer Untersuchung wurden ein Kronkorken, eine Büroklammer, eine kleine Nadel, eine kleine Schraube, ein Knopf, eine Sicherheitsnadel, eine kleine Muschel, eine Münze, eine Füllfederpatrone und zwei verschiedene Kugeln verwendet. BUCK-GRAMCKO läßt seine Patienten zusätzlich die Augen schließen. In unserer Untersuchung wurde dieser Teil gesondert untersucht als "blindes Erkennen von Gegenständen". Dazu benützten wir die oben genannten Gegenstände mit Ausnahme der kleinen Muschel. Diese wurde auch von gesunden Probanden nicht immer als solche erkannt. Wir stuften fünf richtige Antworten als mangelhaft, bis acht richtige Antworten als gutes und alle Antworten richtig als sehr gutes Ergebnis ein.

Als weiterer schnell durchführbarer Test soll der K r a g e n k n o p f t e s t erläutert werden. Man fordert den Patienten auf, einen Knopf zuzumachen und beobachtet dabei seine Geschicklichkeit. Am besten bewährt sich dafür der Kragenknopf, da dabei das Schließen ohne Sichtkontrolle erfolgen muß. Man kann diesen Test auch bereits im einleitenden Gespräch erfragen. Aufgrund der mangelhaften ZPD ist dieser Test für einen Patienten mit einem Ausfall des N. medianus sehr schwer.

2.2. Motorik

2.2.1. Kraftmessung

Bei der Motorik prüften wir zunächst bei Medianus- und Ulnarisverletzten die Kraft mit Hilfe eines geeichten Vigorimeters der Fa. ORTHOPEDIA. Der Druck, den die Ver-

suchsperson ausübte, konnte direkt in kp/cm^2 abgelesen werden.

2.2.2. Funktionsprüfung der Nerven

Hohe und tiefe Schädigungen prüften wir getrennt, denn bei distalen Verletzungen funktioniert die proximale Muskulatur normal, während im umgekehrten Falle einer proximalen Schädigung die distale Muskulatur mitgeschädigt wird und deshalb ebenfalls geprüft werden muß.

Bei hohen Medianusschädigungen läßt man den Patienten bei Radialabduktion das Handgelenk beugen und erfaßt so den M. flexor carpi radialis. Dann prüft man die grobe Kraft der Pronatoren und die Mm. flexor digitorum superficialis und profundus. Zur Beurteilung von distalen Medianusläsionen kommt aus anatomischen Gründen nur die Thenarmuskulatur in Frage. Zur Funktionsprüfung des M. abductor pollicis brevis fixiert der Untersucher die Mittelhand und bittet den Patienten, den Daumen senkrecht zu abduzieren. Hierbei muß man beachten, daß der Patient die Bewegung nicht mit dem M. abductor pollicis longus ausführt. Als weitere Funktionsprüfung erfolgt die Opposition des Daumens auf den Kleinfinger. Fällt diese Funktion aus, kann der Daumen den Kleinfinger entweder ungenügend oder gar nicht mehr erreichen. Durch den Ausfall des M. opponens ist eine Kreiselung des Daumens um seine Längsachse nicht mehr möglich. Die mangelnde Daumenabduktion läßt sich auch als "Flaschenzeichen" nachweisen: Beim Umfassen einer Flasche bleibt zwischen Daumen und Zeigefinger ein Spalt. Der Patient ist nicht fähig, die Flasche gegen Widerstand festzuhalten.

Die Erfassung einer hohen Ulnarisläsion erfolgt durch die Testung der Kraft des M. flexor digitorum profundus des Kleinfingers. Zusätzlich sollte man die Kraft des M. flexor carpi ulnaris untersuchen, wobei der Patient nach Ulnarabduktion des Handgelenks dieses gegen Widerstand des Untersuchers beugen muß.

Die Prüfung einer tiefen Ulnarisläsion erfolgt durch die Testung der kleinen Handbinnenmuskeln. Man bittet den Patienten, die Finger weit zu spreizen, und versucht sie zusammenzudrücken. Damit erfaßt man die Mm. interossei dorsales. Bei den Mm. interossei volares verfährt man umgekehrt. Der Patient hält die Finger eng aneinander geschlossen, und der Untersucher versucht sie auseinanderzuziehen. Hilfreich ist auch das positive FROMENT-Zeichen, das mit einer Atrophie des M. adductor pollicis brevis korreliert. Man läßt den Patienten ein Stück Papier zwischen Daumen und Zeigefinger festhalten. Bei Atrophie wird der Patient den M. flexor pollicis longus einsetzen. Das Zeichen ist positiv.

Bei der Beurteilung der Funktion des N. r a d i a l i s steht die Extensionsfähigkeit des Handgelenks und der Finger im Vordergrund. Für die Diagnose einer hohen Radialisläsion läßt man den Patienten zur Funktionsprüfung des M. triceps gegen Widerstand im Ellenbogengelenk strecken. Die Anspannung des M. brachioradialis kann man in Mittelstellung des Armes an der Radialseite des proximalen Unterarms als Muskelwulst tasten. Für die tiefen Lähmungen prüft man die Mm. extensor carpi radialis extensor digitorum communis et indicis und den M. abductor pollicis longus. Dabei extendiert der Patient im Handgelenk bzw. den Fingern. Zur Prüfung der Abduktion muß der Patient den Daumen kräftig abspreizen. Die Sehne tastet man volar an der Radialkante.

2.3. Bewertungsschema nach HIGHET

Die durch die erwähnten Techniken ermittelten Daten wurden in die in der Handchirurgie üblichen Einteilungen umgesetzt.

Die Sensibilität wurde nach dem Schema von NICHOLSON und SEDDON (1957) eingeteilt in:

S_0 : keine Sensibilität
S_1 : Schutzsensibilität in der autonomen Zone
S_2 : geringe oberflächliche Sensibilität
S_{2+}: wie S_2 zusätzlich Hyperästhesie
S_3 : oberflächliche und tiefe Sensibilität ohne Hyperästhesie
S_{3+}: wie S_3 zusätzlich geringe ZPD
S_4 : normale Sensibilität

Für die Motorik wurde das Schema von DANIELS, WILLIAMS und WORTHINGHAM (1956) und seine Modifikation nach HIGHET benutzt.

M_0 : komplette Lähmung
M_1 : Muskelzuckung ohne Bewegungsausschlag
M_2 : voller Bewegungsausschlag bei ausgeschalteter Schwerkraft
M_3 : voller Bewegungsausschlag gegen die Schwerkraft
M_4 : voller Bewegungsausschlag gegen die Schwerkraft und geringen Widerstand
M_5 : voller Bewegungsausschlag gegen die Schwerkraft und kräftigen Widerstand, d.h. normale Funktion.

3. Elektrophysiologische Untersuchungsmethoden

An die klinische Untersuchung schloß sich die elektroneurographische und elektromyographische Untersuchung an. Die Ableitung erfolgte mit einem Gerät der Fa. DISA, der Zweikanalmyograph Typ 14 B 8o.

3.1. Elektroneurographie

Zunächst erfolgte die elektroneurographische Untersuchung mit der Bestimmung der Latenzen und Amplituden. Nach vorheriger Entfettung der Haut mit Äther wurden die Oberflächenelektroden angebracht. Für die motorische Ableitung wurden kleine Metallelektroden, die mit Kleberingen und Pflasterstreifen auf der Haut fixiert wurden, benützt. Die sensible Ableitung erfolgte mit Ringelektroden aus Stoff, die sich an den entsprechenden Fingern leicht anbringen ließen.

Die differente Elektrode wurde distal, die indifferente proximal angebracht. Reizung erfolgte mit Elektroden aus Filz. Die Impulse, die das Reizgerät abgibt, sind Rechteckimpulse mit einer Dauer von o,1 ms, einer Frequenz von 1 Impuls pro Sekunde und einer maximalen Stärke von 1oo mA.

Die motorische Latenz und Amplitude erhält man durch supramaximale Reizung des Nerven. Supramaximal bedeutet, daß die Amplitude des Muskelaktionspotentials bei Steigerung des Impulses nicht mehr zunimmt. Die Ableitpunkte sind bereits im Zusammenhang mit der Anatomie abgehandelt. Kippeinstellung war 5 mV und 5 ms/Div.

Die sensible Latenz und Amplitude erhält man durch submaximale Reizung an den erwähnten Stellen, d.h. die Amplitude des Potentials läßt sich bei zunehmender Reizstärke noch steigern. Bei der a n t i d r o m e n M e t h o d e wird der Nerv proximal gereizt und distal das Potential abgeleitet. Kippeinstellung war 1o μV und 1 ms/Div. Zur Bestimmung der Leitungsgeschwindigkeit reizt man den Nerv an zwei Stellen. Aus dem Abstand zwischen den zwei Reizpunkten und der Differenz der beiden Latenzen erhält man nach der physikalischen Formel $v = s/t$ die Leitungsgeschwindigkeit in m/s. Für die Ableitung eines sensiblen orthodromen Potentials, das der physiologischen Ausbreitung eines sensiblen Reizes entspricht, werden zwei kleine Nadeln subkutan appliziert, unter der sich der Nerv befindet. Die differente Elektrode soll dabei so nahe wie möglich über dem zu untersuchenden Nerven angebracht werden, die indifferente lateral davon. Reizelektrode ist in diesem Fall die Ringelektrode. Die abgeleiteten Potentiale werden über einen Averager summiert. Meistens verwendeten wir eine Analysezeit von 2o ms und 2oo Durchläufe.

3.2. Elektromyographie

Die elektromyographische Untersuchung richtete sich nach der Höhe der Läsion. Abgeleitet wird das EMG mit einer Nadelelektrode. Diese besteht aus einem Platindraht als der differenten und einer Kanüle als der indifferenten Elektrode. Der Durchmesser der EMG-Nadel entspricht dem einer 14er Injektionsnadel. Die Nadel wird quer zum Faserverlauf des Muskels eingestochen. Bei einer Einstellung von 2o μV und 1o ms/Div. achtet man auf Spontanaktivität wie Fibrillieren, positive Potentiale, Faszikulationen und Serien. Einzelpotentiale erfaßt man bei 1oo μV; aufgrund der Größe der Regenerationspotentiale ist es häufig nötig, eine Einstellung von 2oo μV, o,5 mV oder 1 mV zu wählen. Bei dieser Einstellung kann man die motorische Einheit nach Form, Dauer und Amplitude beurteilen. Die maximale Aktivität beurteilt man bei 1 mV oder bei großer Amplitude bei 2 mV auf Dichte und Höhe.

VII. ERGEBNISSE

Aus den Nachuntersuchungsunterlagen lassen sich folgende Ergebnisse aufzeigen.

1. Trophik

Bei 27 Patienten (= 43,5 %) fanden sich Zeichen einer gestörten Trophik.

2. Sensibilität

2.1. Witterungsempfindlichkeit

Abb. 1: Die Verteilung der Witterungsempfindlichkeit

Keine Witterungsempfindlichkeit hatten 43 Patienten (= 68,3 %). Bei 12 Patienten fanden sich gelegentlich solche Beschwerden, das entspricht 19 % der Fälle. Acht Patienten klagten über starke Witterungsempfindlichkeit, entsprechend 12,7 %.

2.2. Kälteempfindlichkeit

Abb. 2: Die Verteilung der Kälteempfindlichkeit

Ein gesteigertes Kälteempfinden konnte bei 21 Patienten (= 33,3 %) nicht festgestellt werden. Bei neun Patienten (= 14,3 %) bestand eine mittlere Kälteempfindlichkeit. 33 Patienten klagten über starke bis sehr starke Kälteempfindlichkeit. Mit 52,4 % ist dies mehr als die Hälfte der nachuntersuchten Patienten.

Sieben dieser 63 Patienten hatten gleichzeitig eine Gefäßverletzung. 26 Patienten klagten über das starke Kältegefühl ohne einen Gefäßschaden zu haben.

2.3. Parästhesien

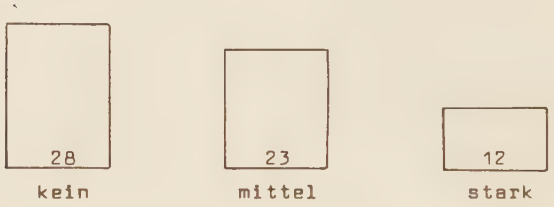


Abb. 3: Die Verteilung der Parästhesien

Keine Parästhesien hatten 28 Patienten (= 44,5 %), mittlere 23 Patienten (= 36,5 %) und starke 12 Patienten (= 19 %).

2.4. Schmerzen

Abb. 4: Die Verteilung des Schmerzempfindens

Schmerzfrei im Bereich der Naht bzw. des Transplantats war die Mehrheit der Patienten (53 = 84,1 %) Mittlere Schmerzen empfanden sieben Patienten (11,1 %). Starke Schmerzen empfanden drei Patienten (= 4,8 %)

2.5. Der Einfluß der Übung auf das Zweipunktediskriminationsvermögen

Nach krankengymnastischer und selbständiger Übung hatten 34 Patienten eine gute ZPD, eine schlechte 18 Patienten. Ohne Sensibilitätstraining hatten fünf eine schlechte und fünf eine gute ZPD.

3. Spezielle Ergebnisse

3.1. N. medianus

3.1.1. Direkte Naht

Unter den 18 nachuntersuchten Patienten befand sich einer mit einer Innervationsanomalie, so daß nur 17 Fälle bewertet werden können. 14 dieser 17 Patienten hatten eine distale und drei eine proximale Durchtrennung.

Tabelle 1: Ergebnisse nach End-zu-End-Naht beim N. medianus

A) Distale Naht. 14 Fälle		
Motorik	Anzahl der Fälle	Durchschnittsalter
M_5	6	12
M_4	3	27
M_3	2	2o
M_2	2	57
M_1	1	26
Sensibilität		
S_4	7	12
S_{3+}	1	6

Fortsetzung Tabelle 1: Ergebnisse nach End-zu-End-Naht beim N. medianus

Sensibilität	Anzahl der Fälle	Durchschnittsalter
S_3	3	51
S_{2+}	1	38
S_1	2	3o
B) Proximale Naht. 3 Fälle		
Motorik	Anzahl der Fälle	Durchschnittsalter
M_5	1	6
M_3	2	1o
Sensibilität		
S_4	1	7
S_{3+}	1	6
S_3	1	13

Abb. 5: Die Motorik des N. medianus (direkte Naht) nach dem Schema von HIGHET

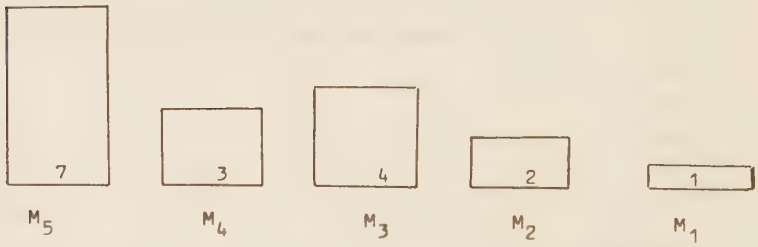
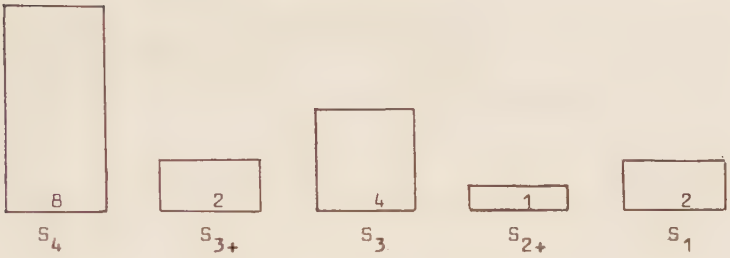


Abb. 6: Die Sensibilität des N. medianus (direkte Naht) nach dem Schema von SEDDON



Das Durchschnittsergebnis war S_{3+}/M_4. Einen M_5/M_4-Erfolg fanden wir bei zehn von 17, einen S_4/S_3-Erfolg bei 14 von 17 unserer Patienten. Einen M_2/M_1-Mißerfolg sahen wir bei drei von 17 Patienten.

3.1.2. Transplantat

Von den 24 nachuntersuchten Patienten, die mit einem autologen Transplantat im Bereich des N. medianus versorgt worden waren, wiesen zwei Patienten eine Innervationsanomalie auf. Deshalb konnten nur 22 Fälle analysiert werden. In 2o Fällen fand sich die Läsion im distalen Teil und in zwei Fällen im proximalen Teil des Nerven.

Tabelle 2: Ergebnisse nach autologer Transplantation beim N. medianus

A) Läsion im distalen Teil: 2o Fälle

Motorik	Anzahl der Fälle	Durchschnittsalter	Defektlänge (cm)
M_5	2	15	3,5
M_4	4	19	3,o
M_3	8	42	2,6
M_2	5	33	9,3
M_1	1	51	3,o

Fortsetzung Tabelle 2: Ergebnisse nach autologer Transplantation beim N. medianus

Sensibilität	Anzahl der Fälle	Durchschnittsalter	Defektlänge (cm)
S_4	2	7	2,5
S_{3+}	2	21	3,o
S_3	7	55	4,5
S_{2+}	5	41	2,9
S_2	2	3o	4,5
S_1	2	17	16,5

8) Läsion im proximalen Teil: 2 Fälle

Motorik	Anzahl der Fälle	Durchschnittsalter	Defektlänge
M_4	1	23	6,o
M_2	1	19	4,o
Sensibilität			
S_3	1	23	6,o
S_{2+}	1	19	4,o

Abb. 7: Die Motorik des N. medianus (Transplantat) nach dem Schema von HIGHET

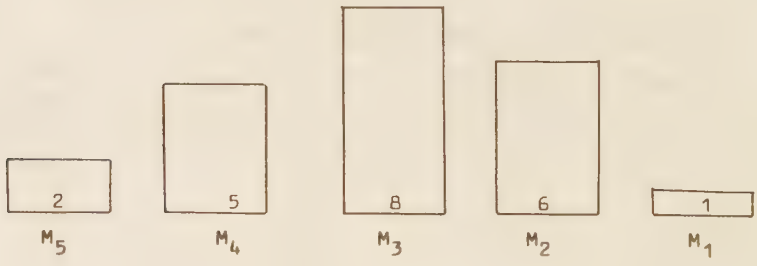
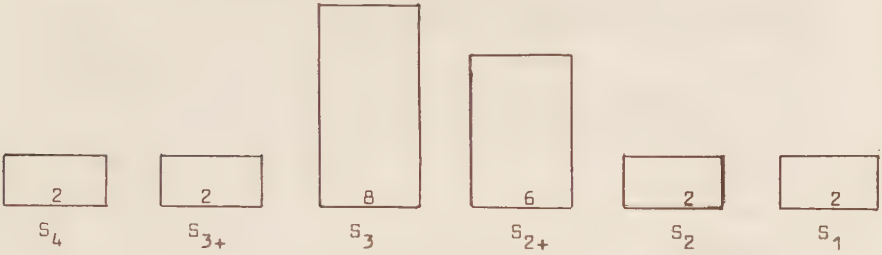


Abb. 8: Die Sensibilität des N. medianus (Transplantat) nach dem Schema von SEDDON



Bei den Transplantaten sahen wir einen M_5/M_4-Erfolg bei sieben von 22 Patienten. Eine 'nützliche Funktion', die auch den Wert M_3 einschließt, erhielten wir bei 15 von 22 der Patienten, die im Medianusbereich mit einem Transplantat versorgt worden waren. Bei sieben von 22 Patienten stellten wir einen M_2/M_1-Mißerfolg fest.

Eine Sensibilität zwischen S_3 und S_4 fand sich bei 12 von 22 unserer Patienten. Bei keinem Patienten fand sich die Stufe S_0, jedoch zeigten vier von 22 die Stufen S_1 und S_2.

3.1.3. Kraftminderung

Bei einer Läsion des N. medianus fanden wir bei 39 Patienten (17 Direktnähte und 22 Transplantate) eine Kraftminderung von ca. 33 % gegenüber der gesunden Seite, unabhängig von der Art der operativen Versorgung.

3.2. N. ulnaris

3.2.1. Direkte Naht

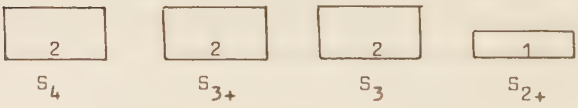
Zur Nachuntersuchung kamen sieben Patienten mit Ulnarisverletzungen, die direkt genäht worden waren. Alle sieben Fälle waren distale Durchtrennungen.

Tabelle 3: Ergebnisse nach End-zu-End-Naht beim N. ulnaris

Läsion im distalen Teil: 7 Fälle		
Motorik	Anzahl der Fälle	Durchschnittsalter
M_5	1	5
M_4	4	24
M_3	2	27
Sensibilität		
S_4	2	5
S_{3+}	2	24
S_3	2	19
S_{2+}	1	38

Abb. 9: Die Bewertung der Motorik des N. ulnaris (direkte Naht) nach dem Schema von HIGHET

Abb. 1o: Die Sensibilität des N. ulnaris (direkte Naht) nach dem Schema von SEDDON



Das durchschnittlich erreichte Ergebnis bei End-zu-End-Nähten des N. ulnaris war S_{3+}/M_4. Einen M_5/M_4-Erfolg sahen wir bei fünf von sieben Fällen. Eine 'nützliche Funktion' wurde bei allen Patienten erreicht. Einen Mißerfolg sahen wir nicht.

In sechs von sieben Fällen konnten wir Stufen zwischen S_3 und S_4 finden. Eine schlechtere Bewertung als S_{2+} sahen wir in keinem Fall.

3.2.2. Transplantate

Bei den 22 nachuntersuchten Patienten fanden wir in einem Fall eine Innervationsanomalie. 21 Fälle konnten folglich nur analysiert werden. Von diesen 21 Fällen befanden sich 18 im distalen Teil und drei im proximalen.

Tabelle 4: Ergebnisse nach autologer Transplantation beim N. ulnaris

A) distale Läsion: 18 Fälle			
Motorik	Anzahl der Fälle	Durchschnittsalter	Defektlänge (cm)
M_5	2	13	3,0
M_4	3	11	2,8
M_3	7	21	4,5
M_2	6	49	4,7
M_1	0	--	--
M_0	0	--	--
Sensibilität			
S_4	3	15	3,3
S_{3+}	7	20	3,2
S_3	4	24	3,4
S_{2+}	2	50	3,0
S_2	1	52	2,0
S_1	1	52	12,0
S_0	0	--	--

Fortsetzung Tabelle 4: Ergebnisse nach autologer Transplantation beim N. ulnaris

8) proximale Läsion: 3 Fälle			
Motorik	Anzahl der Fälle	Durchschnittsalter	Defektlänge (cm)
M_3	1	7	2,5
M_2	1	19	5,o
M_1	1	55	23,o
Sensibilität			
S_3	1	7	2,5
S_2	1	55	23,o
S_1	1	19	5,o

Abb. 11: Die Bewertung der Motorik des N. ulnaris (Transplantat) nach dem Schema von HIGHET

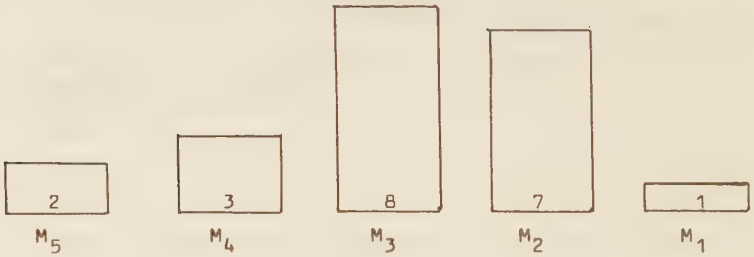
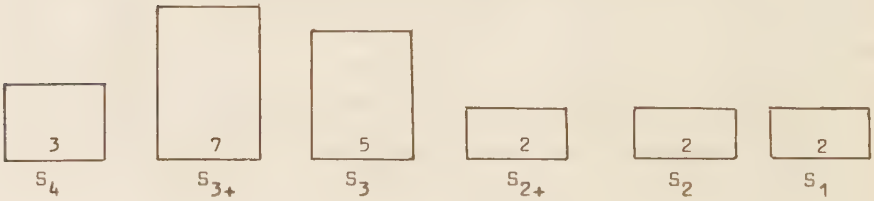


Abb. 12: Die Bewertung der Sensibilität des N. ulnaris (Transplantat) nach dem Schema von SEDDON



Das durchschnittliche Ergebnis betrug bei der autologen Transplantation S_3/M_3. In fünf von 21 Fällen sahen wir einen M_5/M_4-Erfolg. Eine nützliche Funktion zeigten 13 unserer 21 Patienten. Acht Patienten erreichten nur Werte von M_2 und M_1.

15 von 21 Patienten erreichten Sensibilitätswerte zwischen S_3 und S_4. Auch bei diesen Transplantaten fand sich in keinem Fall die Stufe S_o. Vier der 21 Patienten zeigten dagegen die Stufen S_1 und S_2.

3.2.3. Kraftminderung

Bei den 28 Patienten mit einer Ulnarisläsion war die grobe Kraft durchschnittlich um 27 % gegenüber der gesunden Seite vermindert, unabhängig davon, ob es sich um eine direkte Naht oder ein Transplantat handelte.

3.3. N. radialis

3.3.1. Direkte Naht

Bei einem 25jährigen Patienten wurde eine End-zu-End-Naht durchgeführt. Dabei wurde S_{2+}/M_4 erreicht.

3.3.2. Transplantate

Alle vier Patienten mit Radialisverletzungen, die mit einem Transplantat versorgt wurden, konnten nachuntersucht werden. Dabei gewannen wir folgende Daten:

Tabelle 5: Ergebnisse nach autologer Transplantation beim N. radialis

Motorik	Anzahl der Fälle	Alter	Defektlänge (cm)
A) Hohe Schädigung: 2 Fälle			
M_1	1	22	17
M_o	1	19	6
B) Mittlere Lokalisation: 2 Fälle			
M_5	2	15/18	5/9

Fortsetzung Tabelle 5: Ergebnisse nach autologer Transplantation beim N. radialis

Sensibilität

	Anzahl der Fälle	Alter	Defektlänge (cm)
A) Hohe Schädigung: 2 Fälle			
S_3	1	22	17
S_2	1	19	6
B) Mittlere Lokalisation: 2 Fälle			
S_4	1	18	9
S_{3+}	1	15	5

Patienten mit tiefer Schädigung befanden sich nicht in unserem Untersuchungsgut.

Abb. 13: Die Bewertung der Motorik des N. radialis (Transplantat) nach dem Schema von HIGHET

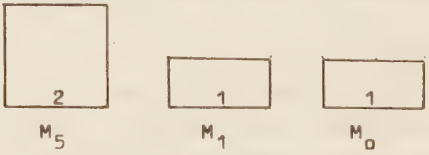


Abb. 14: Die Bewertung der Sensibilität des N. radialis (Transplantat) nach dem Schema von SEDDON

3.4. N. ischiadicus

Bei einem Patienten, bei dem der N. ischiadicus epineural adaptiert worden war, fanden wir bei der Nachuntersuchung Witterungsempfindlichkeit und Kälteempfindlichkeit sowie Parästhesien. Die oberflächliche Sensibilität war ausreichend, jedoch fand sich eine starke Hyperästhesie im Ausbreitungsbereich des N. tibialis und peroneus.

Die proximale Muskulatur war kräftig und kontrahierte gegen Widerstand mit Ausnahme einer Schwäche in den Zehenhebern. In den kleinen Fußmuskeln fanden sich tastbare Kontraktionen, die jedoch keine Bewegung ausüben konnten. Wir beurteilten das Ergebnis nach dem genannten Schema mit S_{2+}/M_3.

3.5. Wichtige Begleitverletzungen

Bei den Läsionen der besprochenen Nerven fanden sich häufig charakteristische Verletzungen anderer Strukturen.

Eine Verletzung des N. m e d i a n u s fand sich am häufigsten im Handgelenksbereich. Als Begleitverletzungen waren hierbei, anatomisch leicht verständlich, Durchtrennungen der Sehnen von M. palmaris longus, M. flexor carpi radialis und der Beugesehnen zum II. und III. Finger besonders oft zu finden. Im Oberarmbereich fanden wir als häufigste Begleitverletzung eine Durchtrennung der begleitenden A. brachialis.

Auch beim N. u l n a r i s fanden sich die meisten Durchtrennungen im Handgelenksbereich. Als Begleitverletzungen fanden sich Durchtrennungen der Vasa ulnaria, der Sehnen zum M. flexor carpi ulnaris und zum M. flexor digitorum superficialis und profundus III und IV. Auch diese Verletzungen lassen sich mit der Topographie des Nerven erklären. In den Fällen ohne Begleitverletzung war der Unfallmechanismus eine Perforation mit kleinen, spitzen oder scharfen Gegenständen, z.B. Scherenspitze oder Glasscherbe.

Im Ellenbogenbereich fand sich in einem Fall neben der Durchtrennung eine Trümmerfraktur.

In zwei Fällen war der Nerv im Oberarmbereich durchtrennt. Als Begleitverletzungen fanden sich Durchtrennungen von A. brachialis und N. medianus.

Aufgrund der geringen Fallzahl können wir über Begleitverletzungen beim N. r a d i a l i s keine Aussagen machen.

4. Elektrophysiologische Ergebnisse

4.1. Elektroneurographische Befunde

Tabelle 6: Vergleich von klinischem und elektroneurographischem Befund

A) End-zu-End-Nähte					
Sensibilität			Motorik		
Stufe	Latenzverlängerung in %	Amplitudenreduktion in %	Stufe	Latenzverlängerung in %	Amplitudenreduktion in %
S_4	2o,7	5o,3	M_5	27,1	38,7
S_{3+}	22,5	74,8	M_4	25,3	12,5
S_3	34,5	51,8	M_3	27,8	22,6
			M_2	24,5	5o,o
B) Transplantat					
S_4	6o,6	85,3	M_5	65,6	6o,3
S_{3+}	85,3	62,2	M_4	35,8	5o,1
			M_3	67,5	58,8
			M_2	42,7	66,o
			M_1	57,o	77,o

Es läßt sich kein direkter mathematischer Zusammenhang zwischen klinischem und elektroneurographischem Befund finden. Jedoch lassen sich einige grundsätzliche

Bemerkungen machen:

1. Es kommt in unterschiedlicher Ausprägung zu einer Verlängerung der Latenz und einer Verminderung der Amplitude.
2. Sowohl motorisch als auch sensibel findet sich eine Verlängerung der Latenz bei den Transplantaten gegenüber den End-zu-End-Nähten um ca. 67 %.
3. Sensibel besteht ein inkonstantes reziprokes Verhältnis zwischen Latenz und Bewertungsstufe.
4. Bei End-zu-End-Nähten waren bei Werten von S_3 und bei Transplantaten von S_{3+} ab regelmäßig antidrome Potentiale zu erhalten. Diese waren oft verplumpt.
5. Bei der orthodromen Ableitung fand man, daß diese verplumpten Spitzen aus zwei bis fünf Spitzen bestanden, deren Amplitude unter 5 μV lagen. Daran zeigt sich, daß die Registrierung eines orthodromen Potentials oft unbedingt notwendig ist.
6. Die Zahl der orthodromen Spitzen läßt keinen Schluß auf die Qualität der Sensibilität zu.

4.2. Spontanaktivität

Bei 23 von den 59 elektrophysiologisch nachuntersuchten Patienten fand sich Spontanaktivität in Form von Fibrillieren und positiven Potentialen. In fünf dieser Fälle fanden wir zusätzlich pseudomyotone Serien. Die Zeitspanne, die zwischen der operativen Versorgung und der Ableitung lag, betrug zwischen 2 und 5 1/2 Jahren.

4.2.1. Spontanaktivität bei direkter Naht

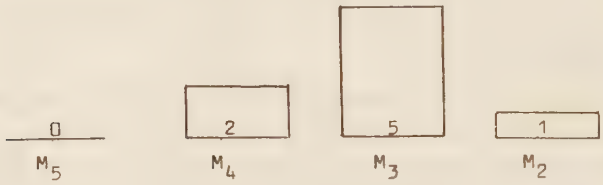
Bei der direkten Naht zeigte sich acht von 23 Fällen Spontanaktivität.

Tabelle 7: Spontanaktivität bei den einzelnen Bewertungsstufen (Direktnaht)

Gesamtzahl der Untersuchten: 23		
Stufe	Anzahl der Fälle	Fibrillieren pos. Potentiale
M_5	8	-
M_4	6	2
M_3	7	5
M_2	2	1

In zwei Fällen konnten bei M_3 pseudomyotone Serien abgeleitet werden.

Abb. 15: Spontanaktivität im Vergleich zum klinischen Ergebnis



4.2.2. Spontanaktivität bei Transplantaten

Bei den Verletzungen, die mit einem Transplantat versorgt werden mußten, fanden sich in 15 von 39 Fällen Spontanaktivität, in drei Fällen Serien (M_4: 1 Fall; M_3: 2 Fälle).

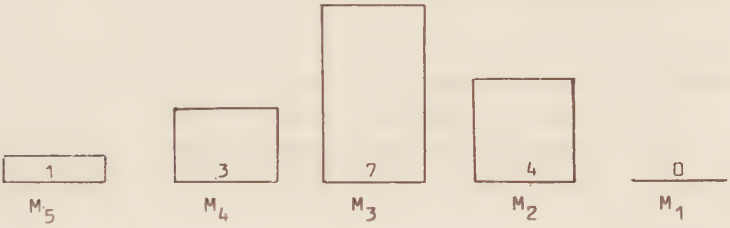
Tabelle 8: Spontanaktivität bei den einzelnen Bewertungsstufen (Transplantat)

Gesamtzahl der Untersuchten: 39		
Stufe	Anzahl der Fälle	Fibrillieren pos. Potentiale
M_5	4	1
M_4	8	3

Fortsetzung von Tabelle 8: Spontanaktivität bei den einzelnen Bewertungsstufen (Transplantat)

Stufe	Anzahl der Fälle	Fibrillieren pos. Potentiale
M_3	12	7
M_2	13	4
M_1	2	-

Abb. 17: Spontanaktivität bei Transplantaten im Vergleich zum klinischen Ergebnis



4.3. Motorische Einheit und Muster

Die durchschnittliche Amplitude bei allen Nervenverletzungen betrug 1,48 mV (± 2,28 mV). Die Extremwerte lagen zwischen 1oo µV und 6 mV. Die Amplitudenhöhe lag bei den Transplantaten durchschnittlich um 115 % höher als bei den End-zu-End-Nähten. Die durchschnittliche Dauer des Potentials betrug 11,9 ms (± 3,7 ms). Die Extremwerte lagen zwischen 5 ms und 1o ms. Di- und triphasische Potentiale überwogen mit 69 % gegenüber den polyphasischen Potentialen. Satellitenpotentiale traten in 43,5 % der Fälle auf.

Tabelle 9: Elektromyographischer Befund im Vergleich zum klinischen Ergebnis

	direkte Naht		Transplantat	
Stufe	Amplitude	Dauer	Amplitude	Dauer
M_5	1,27 mV	9,8 ms	3,oo mV	11,3 ms

Fortsetzung Tabelle 9: Elektromyographischer Befund im Vergleich zum klinischen Ergebnis

Stufe	Amplitude	Dauer	Amplitude	Dauer
M_4	1,o7 mV	1o,4 ms	2,94 mV	13,3 ms
M_3	622 µV	11,2 ms	2,12 mV	11,9 ms
M_2	95o µV	21,5 ms	1,48 mV	1o,9 ms
M_1			1,oo mV	11,o ms

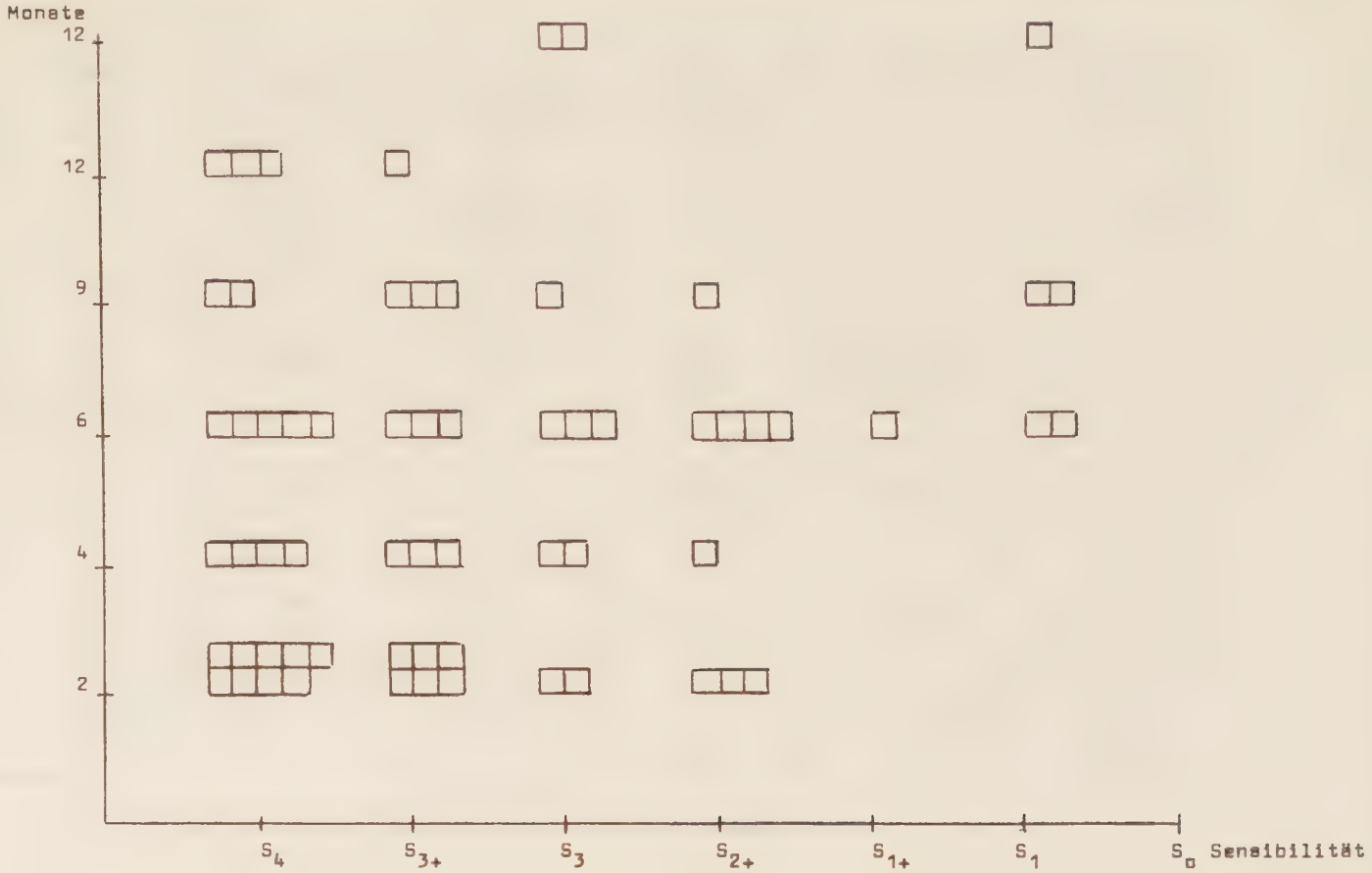
5. Einflüsse auf das Ergebnis durch

5.1. Zeitintervall Verletzung - Rekonstruktion

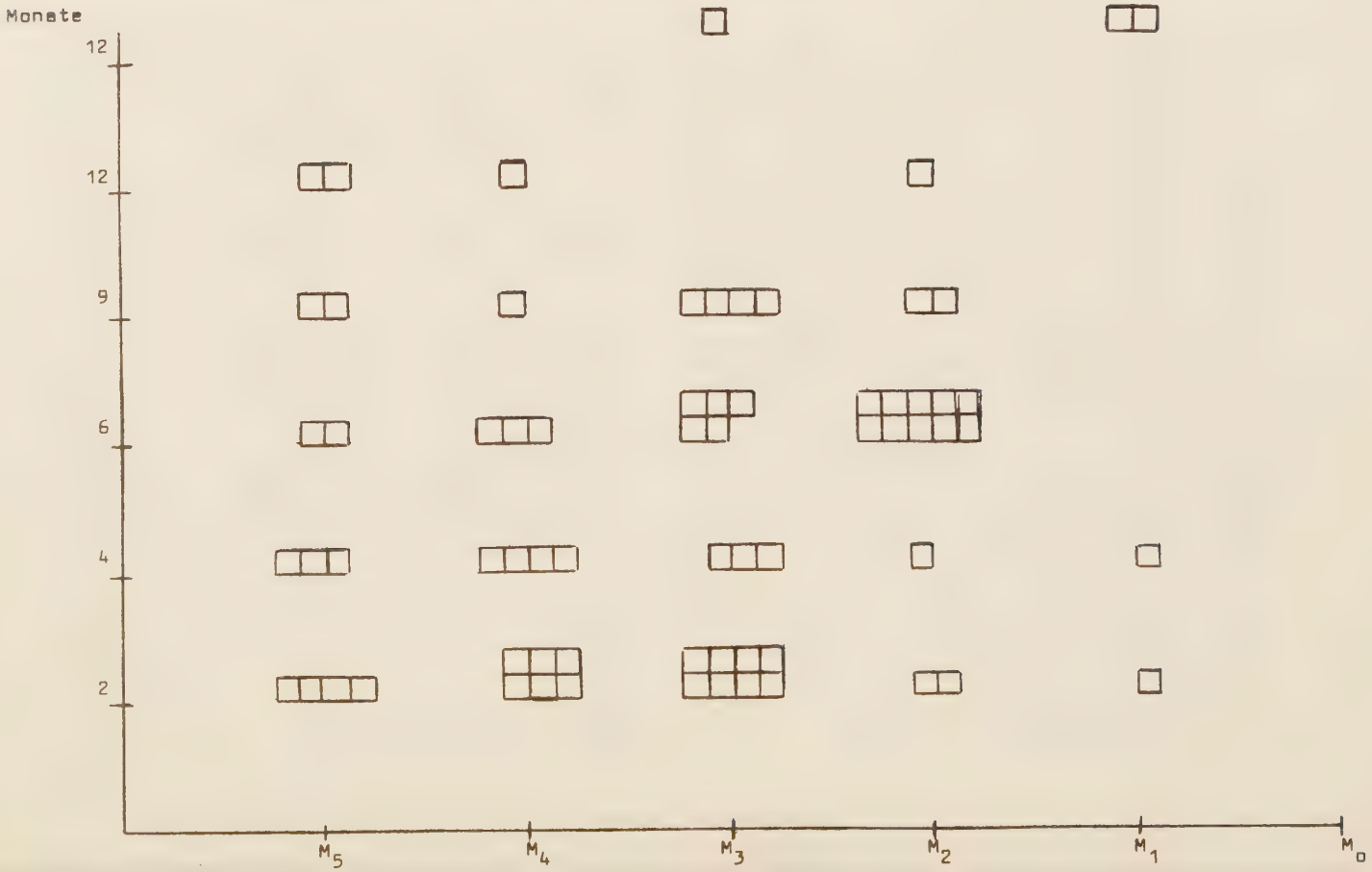
Tabelle 1o: Einfluß des Zeitintervalls Verletzung - Rekonstruktion auf das Ergebnis

Monate	bis 2	bis 4	bis 6	bis 9	bis 12	über 12
Sensibilität						
S_4	9	4	5	2	3	
S_{3+}	6	3	3	3	1	
S_3	2	2	3	1		2
S_{2+}	3	1	4	1		
S_{1+}			1			
S_1			2	2		1
Motorik						
M_5	4	3	2	2	2	
M_4	6	4	3	1	1	
M_3	8	3	5	4		1
M_2	2	1	8	2	1	
M_1	1	1				2
M_o						1
Durchschnitt	S_{3+}/M_4	S_{3+}/M_4	S_3/M_3	S_3/M_3	S_4/M_4	S_{2+}/M_1

Anlage 1: Einfluß der Zeit auf die Sensibilitätsrückkehr



Anlage 2: Einfluß der Zeit auf die motorische Regeneration



Wie aus der Tabelle 1o und den Anlagen 1 und 2 zu entnehmen ist, ergab sich in den ersten vier Monaten durchschnittlich ein Ergebnis von S_{3+}/M_4. Das sensible Ergebnis war nie schlechter als S_2. Als häufigster Defekt blieb Parästhesie zurück. Motorisch war eine Kontraktion gegen Widerstand möglich, jedoch fehlte meistens die Unabhängigkeit in der Bewegung. Kinder, die in diesem Zeitraum von vier Monaten nach der Verletzung operiert wurden, erreichten alle Heilung. Von den Berufstätigen, die in diesem Zeitraum operativ versorgt worden waren, mußte niemand den Beruf wechseln.

Bis zum Ablauf von neun Monaten fanden wir Ergebnisse, die durchschnittlich bei S_3/M_3 lagen. In dieser Patientengruppe fanden sich Voroperierte und solche, bei denen Transplantate über 8 cm eingesetzt werden mußten. Sensibel fand sich besonders ein Mangel an ZPD. Motorisch waren diese Patienten imstande, geringen Widerstand zu überwinden.

Von den vier Patienten, die bis zu 12 Monaten nach der Verletzung operiert worden waren, erreichten zwei S_4/M_5 - Heilung.

Später als ein Jahr nach der Verletzung wurden ebenfalls vier Patienten operiert. Hier fand sich lediglich eine Besserung der Sensibilität, jedoch nicht der Motorik.

5.2. Spannung auf die Nervennaht bei 24 Direktnähten
(16: N. medianus; 7: N. ulnaris; 1: N. radialis)

Tabelle 11: Einfluß der Spannung auf das Ergebnis

Sensibilität			Motorik		
Stufe	Spannung	Spannungsfreiheit	Stufe	Spannung	Spannungsfreiheit
S_4	1o	3	M_5	4	4
S_{3+}	1	4	M_4	5	3
S_3	1	1	M_3	3	3
S_{2+}		2	M_2		1
S_1	1	1	M_1	1	

Abb. 18: Die Sensibilität bei Spannungsfreiheit bzw. Spannung der Naht

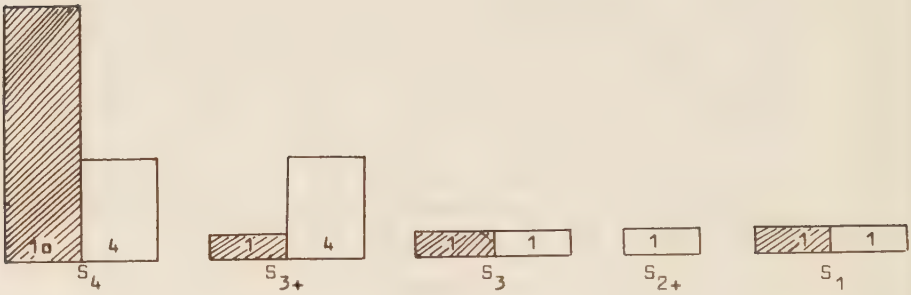
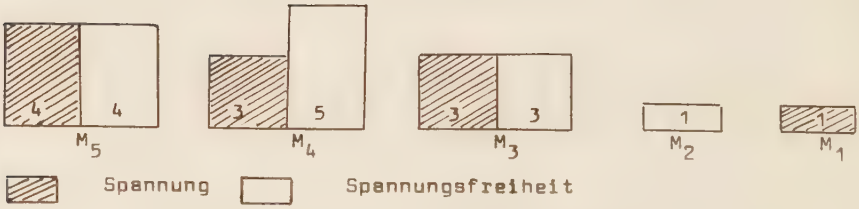


Abb. 19: Die Motorik bei Spannungsfreiheit bzw. Spannung der Naht



13 von 24 End-zu-End-Nähten wurden unter Spannung angelegt. Dabei wurden Defekte bis zu 2 cm überbrückt. Aus Tabelle 11 und den Abbildungen 18 und 19 sieht man, daß zwischen den Ergebnissen bei Spannung und bei Spannungsfreiheit vordergründig kein wesentlicher Unterschied besteht. Es muß jedoch betont werden, daß neun von 13 Patienten Kinder unter 14 Jahren waren. Diese Relation verzerrt das Bild zugunsten der Naht unter Spannung.

5.3. Alter des Patienten

Tabelle 12: Ergebnisse bei Kindern

	N. medianus		N. ulnaris	
Sensibilität				
Stufe	direkte Naht	Transplantat	direkte Naht	Transplantat
S_4	8	3	3	5
S_{3+}	1			1
S_3	1			1
Motorik				
M_5	7	1	1	2
M_4	1	1	2	2
M_3	2	1		

Klinisch zeigten Kinder sowohl sensibel als auch motorisch bessere Ergebnisse als Erwachsene. Als Grenze erwies sich das 14. Lebensjahr. Bei keinem Kind fand sich ein schlechteres Ergebnis als S_3 sensibel und M_3 motorisch. Sowohl beim N. medianus als auch beim N. ulnaris zeigte sich im Vergleich zu den Erwachsenen etwa ein um eine Stufe besseres Ergebnis: Die Kinder erreichten meistens S_4, während die Erwachsenen S_3 erreichten. In der Motorik erreichten die Kinder volle Kraft und Heilung, während bei den Erwachsenen eine kräftige Widerstandüberwindung die Ausnahme blieb (M_3 und M_4).

Unter Hinzunahme der elektrophysiolgischen Befunde zeigte sich, daß bei den Kindern ebenso wie bei den Erwachsenen eine Abnahme der Amplitude und eine Verlängerung der Latenz auftritt. Im EMG findet sich ebenfalls eine Aufsplitterung des Potentials bei hoher Amplitude, sowie eine Lichtung im Muster bei gleichzeitig hoher Amplitude.

5.4. Interponatlänge

Tabelle 13: Einfluß der Interponatlänge auf das Ergebnis

	Durchschnittswert	Extrema
N. medianus		
bis 2,5 cm	S_3/M_3	S_4/M_3 - S_3/M_2
bis 5,0 cm	S_3/M_3	S_4/M_5 - S_2/M_2
bis 7,5 cm	S_{2+}/M_3	S_{2+}/M_2 - S_2/M_2
7,5 cm	S_1/M_2	S_1/M_2 - S_1/M_2
N. ulnaris		
bis 2,5 cm	S_{2+}/M_3	S_{3+}/M_4 - S_{2+}/M_2
bis 5,0 cm	S_3/M_3	S_4/M_5 - S_1/M_2
bis 7,5 cm	S_3/M_3	S_{3+}/M_3 - S_1/M_2
7,5 cm	S_1/M_2	S_1/M_1 - S_1/M_2
N. radialis		
bis 7,5 cm	S_3/M_3	S_{3+}/M_5 - S_2/M_0
7,5 cm	S_{3+}/M_5	S_4/M_5 - S_3/M_1

Bis zu einer Transplantatlänge von 7,5 cm zeigte sich bei allen drei Nerven ein durchschnittliches konstantes Ergebnis von S_3/M_3. Darüber kam es zu einem rapiden Abfall der Ergebnisse.

6. Innervationsanomalien

In vier Fällen konnten wir mit Hilfe der Elektrophysiologie eine Innervationsanomalie feststellen. Das sind 6,25 % der nachuntersuchten Patienten. In drei Fällen mußte Mitinnervation des Thenars durch den N. ulnaris angenommen werden. In einem Fall innervierte der N. medianus die langen Beuger, die normalerweise vom N. ulnaris versorgt werden.

Fall 1: Ein 37jähriger Bierbrauer hatte durch eine Glasschnittverletzung im rechten Ellenbogenbereich eine Durchtrennung des N. medianus erlitten. Vier Monate nach der Verletzung wurde eine interfaszikuläre Nerventransplantation durchgeführt. Bei der klinischen Untersuchung zeigte sich bis auf eine gering pathologische ZPD ein normales Bild. Elektrophysiologisch zeigte sich, daß das Reizantwortpotential, das vom Thenar mit Nadelelektroden abgeleitet werden konnte, vom N. ulnaris kam.

Fall 2: Eine 63jährige Hausfrau hatte durch einen Verkehrsunfall ein Polytrauma mit Durchtrennung des N. ulnaris im rechten Ellenbogen erlitten. Bei der klinischen Untersuchung fand sich in den langen Ulnaris innervierten Beugern eine normale Kraft. Im EMG zeigte sich in den genannten Muskeln normale Einheiten und ein dichtes Muster.

Fall 3: Eine 55jährige Verkäuferin hatte einen Suizidversuch unternommen und dabei das Handgelenk eröffnet und den N. medianus durchtrennt. Bei der klinischen Untersuchung zeigte sich ein geringfügig abgeschwächtes Bild, bei der die normale ZPD auffallend war. Elektrophysiologisch zeigte sich bei Nadellage im Thenar ein identisches Potential von Ulnaris und Medianus. Im EMG fand sich ein dichtes Aktivitätsmuster und nur gering umgebaute Potentiale.

Fall 4: Ein 32jähriger Maler hatte eine Glasscherbenverletzung mit Durchtrennung des N. medianus erlitten.

Klinisch zeigte sich sensibel ein ganz normales Bild. Motorisch war die Kraft im Thenar etwas vermindert. Elektrophysiologisch konnte bei Nadel- und bei Hautableitung eine Innervation des Thenars durch den N. ulnaris festgestellt werden. Die Lichtung des Musters und die Herabsetzung der Kraft weisen auf eine Doppelinnervation des Thenars hin.

7. Analyse der Mißerfolge

In vier Fällen fanden wir Mißerfolge, die mit M_0 bis M_1 bewertet werden mußten.

Fall 1: Bei einem 26jährigen Landwirt wurde nach sechs Jahren auf Drängen der Berufsgenossenschaft ein Rekonstruktionsversuch durchgeführt. Bei der jetzigen Untersuchung konnten Zuckungen in der Thenarmuskulatur getastet werden, die jedoch nicht zu sichtbaren Bewegungen führten. Dem Patienten ist es unmöglich, Gegenstände mit der verletzten Hand zu greifen, da die Daumenfunktion völlig ausfällt. Elektrophysiologisch konnte eine einzelne motorische Einheit nachgewiesen werden. Als Ursache für diesen Mißerfolg muß man das lange Intervall zwischen Läsion und Rekonstruktion ansehen.

Fall 2: Bei einem 52jährigen Straßenwart wurde unmittelbar nach dem Unfall eine interfaszikuläre Nerventransplantation durchgeführt. Bei der klinischen Untersuchung fand sich ein dem Fall 1 analoger Befund. Bei der elektrophysiologischen Untersuchung zeigte sich eine kleine Amplitude. Auf eingehende Befragung gab der Mann Alkoholkonsum zu. Als Ursache ist aufgrund des elektrophysiologischen Befundes eine alkoholische Polyneuropathie zu diskutieren, die der Regeneration im Wege steht. Auch eine Ruptur der Nahtstelle wäre denkbar.

Fall 3: Bei einem 22jährigen Bauschlosser lag neben einer Radialisschädigung durch Oberarmfraktur zusätzlich eine komplette Armplexuslähmung vor. Bei Entfernung des Osteosynthesematerials wurden zwei Transplantatstücke zu je 17 cm eingesetzt. Motorisch wurde ein Wert von M_1

erreicht. Gebessert hat sich seit der Operation dagegen die Sensibilität, die mit S_3 erstaunlich gut war. Die Frage einer operativen Plexusrevision wurde aufgrund des sehr großen Defektes abgelehnt.

Fall 4: Bei einem 19jährigen Industriekaufmann lag neben der Radialislähmung eine untere Armplexuslähmung vor. Auch hier waren mehrere Wurzeln betroffen, so daß man von der Plexusrevision Abstand nehmen mußte. Klinisch fand sich M_0/S_2.

Die Frage, inwieweit die Schädigung im Plexusbereich für die schlechten Ergebnisse verantwortlich zu machen ist, konnte in beiden Fällen auch durch wiederholte elektrophysiologische Untersuchungen nicht geklärt werden.

Umgekehrt ist eine Nervenverletzung bei einer gleichzeitigen Plexusverletzung nicht leicht aufzudecken, da der Funktionsausfall des Nerven nur schwer erkennbar ist.

8. Beschwerden im Entnahmebereich des Spendernerven

Eine relativ geringe Zahl von acht Patienten gab spontan Beschwerden nach Entnahme des N. suralis an. Diese Beschwerden müssen bei drei Patienten so stark sein, daß diese die Schmerzen denen im Handbereich gleichsetzten. Auf die Art der Beschwerden wird in der Diskussion eingegangen.

VIII. DISKUSSION

1. Krankengut

Bemerkenswert ist, daß ein Drittel der Patienten, die nicht untersucht werden konnten, Patienten nach einem Suizidversuch waren. Auch denjenigen Suizidpatienten, die sich der Nachuntersuchung unterzogen, war die Angst vor Vorurteil und Verständnislosigkeit anzumerken.

Nach wie vor sind die Verletzungen durch Glas die Hauptursache (MILLESI, VOSSKÜHLER).

Als Schwierigkeit erwies sich die kleine Fallzahl bei der Direktnaht des N. ulnaris sowie beim N. radialis. Die dabei gewonnenen Daten können deswegen nur als Richtwerte gelten.

2. Subjektive Ergebnisse

2.1. Witterungsempfindlichkeit

Die Witterungsempfindlichkeit ließ sich nicht weiter differenzieren. Ein Teil der Patienten meinte, ein Umschwung schön auf schlecht mache sich besonders bemerkbar, ein anderer, besonders Gewitter, Regen oder Wind, ein dritter, jeder Wetterumschwung sei zu spüren. Meistens beschrieben die Patienten die Witterungsempfindlichkeit mit "leicht ziehend".

2.2. Kälteempfindlichkeit

Im Vordergrund aller Klagen stand die Kälteempfindlichkeit. Probleme, die dadurch im Berufsleben entstehen, werden später besprochen. Die Stärke der Kälteempfindlichkeit schwankte zwischen einer geringen Beeinträchtigung bis zu massiven Beschwerden. Die Stärke läßt sich am besten an einem Beispiel verdeutlichen. Zwei Patienten berichteten, sie müßten nachts einen Handschuh tragen, da sie sonst wegen des starken Kältegefühls nicht einschlafen könnten. Bemerkenswerterweise

hat ein großer Teil dieser Patienten dabei eine befriedigende Sensibilität. Die von uns beobachtete Kälteempfindlichkeit konnte auch von SEDDON, MUMENTHALER und SCHLIACK bei ihren Patienten festgestellt werden.

Daß das Kältegefühl auf die begleitende Gefäßverletzung zurückzuführen ist, ist nicht anzunehmen. Nur sieben von 33 Patienten, die über das Kältegefühl klagten, hatten gleichzeitig eine Gefäßverletzung. 26 Patienten klagten über das Kältegefühl ohne eine Gefäßverletzung zu haben.

Die oben genannten Autoren sehen das Kältegefühl als ein spezielles Zeichen der gestörten Vasomotorik an.

2.3. Parästhesien

Es zeigte sich, daß die meisten Parästhesien als "Ameisenlaufen" oder "pelziges Gefühl" umschrieben wurden. Einige Patienten hatten auch ein elektrisierendes Gefühl, das dem HOFMANN-TINEL'schen Zeichen entsprechen dürfte. Die regelmäßige Frage, ob diese Mißempfindungen schmerzhaft seien, wurde grundsätzlich verneint.

Beim Erwachsenen muß man damit rechnen, daß die Parästhesien nicht vollständig zurückgehen. Über den Schweregrad kann man jedoch keine Aussagen machen. Unter den 44,5 % der Patienten, die keinerlei Parästhesien angaben, befand sich ein sehr großer Teil Kinder. Auf die Abhängigkeit der Parästhesien vom Lebensalter muß man den Patienten präoperativ aufmerksam machen.

2.4. Schmerzen

Als Schmerzen definierten die Patienten den Zustand, den sie nur durch Einnahme von Schmerztabletten ertragen können. Starke Schmerzen zeigten sich nur bei Patienten, die die Stufe S_2 nicht überschritten. Die Schmerzqualität wurde mit "stark ziehend" beschrieben. Bei einem Patienten fanden wir kausalgische Schmerzen. - Die Patientengruppe mit geringen Schmerzen beklagte die Beschwerden besonders nach längerer Arbeit oder nach Berührung mit

Kälte. Diese Beschwerden sind durch Überanstrengung und Kälte zu erklären.

Stellt man der geringen Zahl die Mehrheit gegenüber, die keine Schmerzen hat, muß man dieses Problem insgesamt als untergeordnet betrachten, obwohl es im Einzelfall durchaus problematisch sein kann.

2.5. Einfluß des Sensibilitätstrainings auf die ZPD

18 von 62 Patienten zeigten trotz angegebener Übung eine mangelhafte ZPD. Wir führen dies darauf zurück, daß sich viele Patienten bei der Befragung in die Enge getrieben fühlen und deswegen falsche Angaben über ihr tägliches Übungsprogramm machen. Wir sind deshalb in unserer Statistik auf die Wahrheitsliebe der Patienten angewiesen, die einen großen Unsicherheitsfaktor darstellt. Man muß trotzdem den großen Anteil von 32 von 64 Patienten als Argument für die Übung ansehen.

Auch DELLON weist darauf hin, daß ein Patient, der seine Sensibilität trainiert, diese schneller wiedergewinnt als derjenige, der die Übungen für unnötig hält.

Über die Veränderungen der ZPD während des Sensibilitätstrainings können wir keine Aussagen machen, da wir das durch die einmalige Messung nicht erfassen konnten und keine geeigneten Voruntersuchungen vorlagen.

2.6. Beschwerden im Entnahmebereich des Spendernerven

Die Beschwerden, die die Patienten äußerten, sind neben dem gesteigerten Kältegefühl Elektrisieren und Schmerzen. Ein Patient berichtet, daß die Anästhesie im Fersenbereich zu häufigen Verletzungen führe. Unter den Patienten, die über derartige Beschwerden klagten, waren keine Kinder. Die Kinder hatten sogar im Entnahmebereich ein gewisses Gefühl entwickelt.

STANIFORTH fand bei 4o Patienten dieselben Beschwerden. Er schätzt, daß 4o % der Patienten diese Beschwerden

bekommt. SELETZ fand bei 5o % seiner Patienten diese Probleme. Die gravierendsten Folgen, die er sah, sind: Ulzerationen, chronische Dermatitis und Neurome. Er vermeidet es, den N. suralis bei Patienten mit venösen Beschwerden zu entnehmen. MILLESI sah außer einer Hypästhesie keine Beschwerden.

2.7. Auswirkung der Verletzung auf den Beruf

Die Hälfte der 28 Patienten, die erwerbstätig waren, wechselten postoperativ den Beruf. Es ist auffallend, daß Patienten mit Läsionen im Bereich des N. medianus häufiger den Beruf wechselten als solche, bei denen der N. ulnaris oder der N. radialis betroffen war (10:2:2). Der Grund dürfte in der Anatomie und der Funktion der Nerven bedingt sein. Anamnestisch ergab sich dabei, daß für viele Patienten das Kältegefühl und die Parästhesien sowie die fehlende Zweipunktediskrimination für den Wechsel entscheidend waren.

Das Kälteempfinden ist besonders für Beschäftigte des Baugewerbes eine Schwierigkeit, die eine Umschulung erzwingt. Für diesen Personenkreis ist es besonders schwierig, bei niedrigen Außentemperaturen im Freien zu arbeiten. Nach einiger Zeit werden die Finger steif und blau und verhindern Weiterarbeiten.

Bei einem Glasschneider mit Ulnarisverletzung treten die gleichen Symptome auf, wenn kaltes Wasser über die Finger läuft.

Einige unserer Patienten versuchten Handschuhe zu tragen, mußten den Versuch jedoch aufgeben, weil sie bei ihrer Tätigkeit zu stark behindert wurden.

Auch hier scheidet eine begleitende Gefäßverletzung als Ursache aus: Nur zwei berufstätige Patienten mit Kältegefühl hatten eine begleitende Gefäßverletzung.

Die Parästhesien verursachen bei den Patienten eine Unsicherheit, die für einen Berufswechsel entscheidend

werden kann. Ein Bauzimmermann formulierte das so: "Man hat so das Gefühl, sich nicht voll auf die Hand verlassen zu können."

Die fehlende ZPD wird besonders von Patienten beklagt, die in der Feinmechanik beschäftigt sind. Darüberhinaus sind Beschäftigte betroffen, die im Akkord stehen oder bei denen der Zeitfaktor sonst eine Rolle spielt, wie z.B. Monteure, die für die Wartung von Industriemaschinen verantowrtlich sind. Am Arbeitsplatz fällt es ihnen schwer, kleine Schrauben zu halten. Das Bewußtsein dieses Mangels bewirkt zusätzlich eine gewisse Nervosität.

Die fehlende Kraft war für die meisten Patienten der Ausschlag für den Berufswechsel. Hierbei war es gleichgültig,ob es sich dabei um Verletzungen im Bereich des N. medianus oder des N. ulnaris handelte.

Bei einem Patienten kam es bei der Ausübung seines erlernten Matrosenberufes zu "Krämpfen" während der Arbeit, die ihn zum Berufswechsel zwangen.

Zwei Patienten verloren kurz nach ihrer Operation ihren Arbeitsplatz. Als Grund gaben sie zunächst ihre Verletzung an. In beiden Fällen stellte sich im Laufe der Untersuchung heraus, daß andere Gründe für die Entlassung ausschlaggebend waren.

Bei einem Patienten kamen wir zu der Überzeugung, daß er uns wegen eines laufenden berufsgenossenschaftlichen Rentengutachtens nicht die entsprechende Auskunft geben wollte. Auch die wiederholte Versicherung, daß das Ergebnis keinen Einfluß auf das Gutachten habe, konnte ihn nicht überzeugen. So konnte es auch nicht verwundern, daß der elektrophysiologische Befund bedeutend besser war als der klinische.

Aus den Gesprächen mit den Patienten war immer wieder zu erfahren, daß die Werksärzte zu wenig über die Problematik der Handpatienten wissen, so daß bei den Betroffenen das Gefühl aufkam, "einfach abgefertigt zu

werden". Hier wird in Zukunft eine stärkere Zusammenarbeit geboten sein.

3. Wertung der Untersuchungstechniken

Die gesamte Untersuchung verlangte dem Patienten ein hohes Maß an Geduld, Kooperationsbereitschaft und Konzentration ab. Mehrfach kam man zur Überzeugung, daß der Patient nach einer gewissen Zeit in seiner Leistungsfähigkeit nachließ. Es ist selbstverständlich, daß die Untersuchung in einer ruhigen Atmosphäre ohne größere Störungen stattfinden mußte.

3.1. Sensibilität

Bei der Bestimmung der Sensibilität war die Prüfung der ZPD der schwierigste Teil. Die ZPD prüft, wie MOBERG es ausdrückt, die "taktile Gnosis" und meint damit das Fingerspitzengefühl, das man benötigt, um beispielsweise eine Armbanduhr aufzuziehen.

Der Zweipunkte-Stern nach GREULICH erwies sich bei richtiger Anwendung als vorteilhaft, da er eine gewisse Normierung dieser Prüfung darstellt. Seine Verwendung bedarf jedoch einiger Übung. Besonders wichtig ist es, den Stern gleichmäßig und gleichzeitig aufzusetzen. Der Patient kann sonst aus der Zeitdifferenz entnehmen, ob ein oder zwei Spitzen aufgesetzt werden. Auf keinen Fall sollte der Untersucher die Hand des Patienten berühren, da dieser dadurch abgelenkt und das Ergebnis falsch negativ wird. Einige unserer Patienten versuchten bei dieser Untersuchung, wie BUCK-GRAMCKO es als Fehlerquelle beschreibt, aktiv gegen die Spitze des Sterns zu drücken. Durch die so entstehende Ischämiezone kommt der Patient über den Schmerz und nicht über den Berührungsreiz zu einem falsch positiven Ergebnis. In diesem Fall ist man gezwungen, den Finger während des Tests sanft auf die Unterlage zu drücken.

Nach einer gewissen Zeitspanne konnte man eine Fehlerhäufung wegen mangelnder Konzentration feststellen. Diese behob sich jedoch, wenn man den Test kurzzeitig unterbrach.

Der Sandpapiertest war dann problematisch, wenn der Patient aus dem metallverarbeitenden Gewerbe kam, da er durch den täglichen Umgang mit Sandpapier damit vertraut war.

Der SEDDON'sche Münztest erwies sich als wertvoll. Er war für die Patienten offensichtlich schwerer als erwartet. Er wurde zur Stütze in den Fällen, bei denen die Bestimmung der ZPD entweder ein nicht eindeutiges Ergebnis erbracht hatte oder die Konzentrationsfähigkeit des Patienten von Beginn an schlecht war.

Der Aufsammeltest nach MOBERG zeigte häufig, daß Patienten mit einer schlechten ZPD erhebliche Schwierigkeiten beim Aufheben kleiner Gegenstände hatten. Es fiel auf, daß besonders der kleine Nagel und die kleine Schraube den Patienten Schwierigkeiten bereiteten. Bei den anderen Gegenständen gelang es den Patienten, mit dem Fingernagel unter den Gegenstand zu fassen und diesen praktisch im Hochwerfen aufzunehmen. Außerdem mußte man die Patienten wiederholt ermahnen, nicht Ring- bzw. Kleinfinger zu gebrauchen. Interessant erscheint dabei die häufige Spontanäußerung, es im Alltagsleben so gewohnt zu sein. Hier liegt eine besondere Art der Trickbewegung vor.

Das "blinde Erkennen von Gegenständen" erwies sich nicht als aussagekräftig. Die Gegenstände waren groß genug, daß auch Patienten mit einer mangelhaften ZPD diese erkannten. Aus diesem Grund nahmen wir den Sandpapier- und den SEDDON'schen Münztest hinzu.

Der "Kragenknopftest" korrelierte gut mit der mangelnden ZPD. Die Unfähigkeit, den Kragenknopftest durchzuführen, zeigte sich ab einer ZPD von über 8 mm. Besonders wertvoll war der oben beschriebene Test, wenn man zu der

Überzeugung gelangt war, der Patient mache sich Hoffnung auf eine Rente und wolle bei der Bestimmung der ZPD nicht richtig mitmachen. In diesen Fällen untermauerte der einwandfrei ausgeführte Kragenknopftest die Zweifel. Auffallend war, daß alle Kinder diesen Test leicht durchführen konnten.

3.2. Motorik

Bei der Beurteilung der Motorik stellten die bereits beschriebenen Trickbewegungen die Hauptschwierigkeit dar. Bei Trickbewegungen konnte man keine Kontraktion an dem erwarteten Muskelbauch tasten.

3.3. Elektrophysiologie

Mit Hilfe der elektrophysiologischen Untersuchungstechniken konnten weitere Aussagen über den Zustand von Nerv und Muskel gewonnen werden. Wie bereits dargestellt, konnte in einem Fall ein besseres Ergebnis mit der Elektrophysiologie gewonnen werden als klinisch zu erwarten war. In einem anderen Fall sicherte uns diese Untersuchungstechnik bei einem debilen Jungen unsere Ergebnisse.

Bei der elektrophysiologischen Untersuchung können einige Fehler auftreten, die ausgeschaltet werden sollten.

Eine falsch negative Leitungsgeschwindigkeit erhält man, wenn die Hauttemperatur unter 34^{o}C fällt. Allgemein sinkt die Leitungsgeschwindigkeit um 2,o - 2,4 m/s pro Grad Temperaturdifferenz. Es empfiehlt sich, bei niedrigen Außentemperaturen ein Armbad bei 36^{o} - 38^{o}C machen zu lassen. Bei der sensiblen Leitungsgeschwindigkeit muß man streng auf die submaximale Reizung achten, um nicht ein volumgeleitetes Potential zu erhalten. Hier bewährt sich das Zweikanalgerät, weil man gleichzeitig Sensibilität und Motorik beurteilen kann.

Die Volumleitung kann auch bei nahe beieinander liegenden Nerven, wie z.B. N. medianus und N. ulnaris am Handgelenk, bei hohen Reizstärken auftreten. Hier schützt nur der direkte Vergleich beider Potentiale. Ist eine exakte Abklärung nicht möglich, schafft nur die Leitungsblockade eines der beiden Nerven Klarheit.

Die Ableitung des orthodromen sensiblen Potentials stellt die schwierigste Aufgabe der elektrophysiologischen Untersuchung dar. Der Patient muß dabei den Arm ganz ruhig halten, da sonst Artefakte entstehen, die die ganze Ableitung unbrauchbar machen. Besonders schwierig ist es, ein orthodromes Potential abzuleiten, wenn sich ein Amputationsneurom gebildet hat. Dann wird der Einstich der Elektroden vom Patienten kaum noch toleriert. Trotzdem kann auf die orthodrome Ableitung nicht verzichtet werden.

Abschließend muß noch angemerkt werden, daß vier unserer Patienten aus Furcht vor den Nadeln sich weigerten, ein EMG bzw. die orthodrome Ableitung machen zu lassen.

4. Trophische Störungen und Sensibilität

Besonders in den Fällen, in denen die Sensibilität stärker gestört war, fanden wir auch Störungen der Trophik. Das ALFÖLDI'sche Fingerzeichen trat nur bei den Sensibilitätsstufen S_0 bis S_2 auf. MUMENTHALER und SCHLIACK erklären dies mit der sensiblen Denervierung von Haut und Unterhautgewebe.

Bei den gemischten Nerven konnten wir wie BUCK-GRAMCKO in den Fällen eines motorischen Mißerfolges eine Ausbildung von Schutzsensibilität beobachten. Der genannte Autor erklärt dies mit der Operationstechnik: Während der Operation ist es unmöglich, zwischen sensiblen und motorischen Fasern zu unterscheiden. FÜr eine Kontraktion müssen aber mehr Fasern die motorische Endplatte erreichen als benötigt werden, um eine ausreichende ZPD zu erhalten.

Anlage 3: Vergleich der sensiblen Ergebnisse bei Direktnaht

	Buck-Gramcko	Geldmacher	Millesi	Martini Zellner	Univ. Würzburg
Gesamtzahl	14o			24	25
S_4	112 8o %				1o 4o %
S_{3+}	9 7 %			12 5o %	4 4o %
S_3				4 17 %	6
S_{2+}	13 9 %			8 33 %	3 12 %
S_2					0
S_1	3 4 %				2 8 %
S_0	3				0

Um unsere Ergebnisse mit anderen Autoren vergleichen zu können, mußten wir ebenfalls die Sensibilität von der Motorik der gemischten Nerven getrennt betrachten.

Wie aus den Anlagen 3 und 4 ersichtlich ist, sind die unterschiedlichen Fallzahlen das erste Hindernis, das den direkten Vergleich erschwert. BUCK-GRAMCKO kann aufgrund seines großen Krankengutes eine größere Statistik erstellen als wir. Schwerer als die unterschiedlichen Fallzahlen wiegt jedoch die Unzulänglichkeit des SEDDON'schen Schemas. Wir schließen uns damit der Kritik von MARTINI und ZELLNER an. Wie die beiden genannten Autoren fordern wir die Einbeziehung der trophischen Störungen in das neu zu schaffende Schema und die schärfere Abgrenzung der einzelnen Stufen. So ist beispielsweise die Stufe S_4 viel zu weit gefaßt. BUCK-GRAMCKO nimmt S_4 bei einer ZPD unter 2o mm an, während GELDMACHER und wir eine normale ZPD fordern. Auch die Frage der Parästhesien bleibt unberücksichtigt. Damit verknüpft ist die unterschiedliche persönliche Schmerzempfindlichkeit der einzelnen Patienten. Mancher Patient beachtet vorhandene Parästhesien nicht und beschreibt seine Empfindung als normal, während ein anderer Beschwerden angibt. Der Unterschied entspricht dann einer Bewertungsstufe.

Trotz dieser Mängel entschieden wir uns dennoch für das SEDDON-Schema um des besseren Vergleichs willen. Wir fanden eine weitgehende Übereinstimmung unserer Ergebnisse mit denen von GELDMACHER und MILLESI, die auch weitgehend den gleichen Bewertungsmaßstab wie wir anlegten.Ein Vergleich der Ergebnisse für End-zu-End-Nähte ist nur mit BUCK-GRAMCKO und MARTINI und ZELLNER möglich, da die anderen Autoren keine Aussagen über Ergebnisse bei End-zu-End-Nähten machen.

Einen S_4-Erfolg bei den D i r e k t n ä h t e n sahen wir in 4o % der Fälle, während BUCK-GRAMCKO 8o % mit S_4 bewertete. Hier muß man das unterschiedliche

Anlage 4: Vergleich der sensiblen Ergebnisse bei autologer Transplantation

	Buck-Gramcko	Geldmacher	Millesi	Martini Zellner	Univ. Würzburg
Gesamtzahl	84	28	75	1o	46
S_4	45 54 %	7 25 %	26 35 %	5 5o %	6 13 %
S_{3+}	7 — 8 %	4 — 14 %			1o 53 %
S_3			44 59 %		14
S_{2+}	16 — 19%	13 — 47 %	1 1 %	5 — 5o %	8 17 %
S_2			3 4 %		4 8,5%
S_1	9 19 %	2 14 %	1 — 1 %		4 8,5%
S_0	7	2			0

Bewertungsschema als Grund für die Differenz annehmen. Wir fanden einen größeren Anteil bei den Stufen S_{3+} und S_3. Wir bewerteten 4o % der Patienten mit diesen Stufen, BUCK-GRAMCKO nur 7 %. MARTINI und ZELLNER gaben nur einen summarischen Erfolg $S_{3/4}$ mit 5o % an, wir fanden bei denselben Stufen 8o %.

Legt man den Mißerfolg als Bewertungskriterium zugrunde, fand BUCK-GRAMCKO 4 % seiner Patienten mit den Stufen $S_{1/o}$, wir dagegen 8 %. MARTINI und ZELLNER stuften 33 % der Patienten in S_{o-2+} ein, wir 2o %.

Berücksichtigt man die unterschiedlichen Fallzahlen und den unterschiedlichen Bewertungsmaßstab finden sich bei allen Autoren annähernd gleiche Ergebnisse.

Bei den T r a n s p l a n t a t e n sah BUCK-GRAMCKO in 54 % seiner Fälle einen S_4-Erfolg, GELDMACHER in 25 % und wir in 13 %. Den großen Abstand zu BUCK-GRAMCKO muß man auch hier wieder mit dem unterschiedlichen Bewertungsmaßstab für die Stufe S_4 erklären. Untermauern läßt sich dies, wenn man die prozentualen Anteile an den Stufen S_{3+}/S_3 betrachtet. BUCK-GRAMCKO bewertete 8 % seiner Fälle mit diesen Stufen, GELDMACHER 14 % und wir 53 % der Patienten. MILLESI und wir fanden in 35 % der Fälle die Stufen S_{3+}/S_4. MARTINI und ZELLNER bewerteten 5o % mit den Stufen S_3/S_4, wir 64 %. Problematisch bei diesem Vergleich ist der modifizierte Bewertungsmaßstab dieser beiden Autoren.

Zieht man den Mißerfolg als Bewertungskriterium heran, zeigt sich für unsere Untersuchung ein günstiges Ergebnis. Betrachtet man die Stufen S_o und S_1 als Mißerfolg, fand sich bei uns in 8,5 % ein sensibler Mißerfolg. BUCK-GRAMCKO bewertete 19 %, GELDMACHER 14 % seiner Patienten mit diesen Stufen, während MILLESI nur bei 1,3 % seiner Patienten dieses Ergebnis sah.

Abgesehen von der unterschiedlichen Bewertung von S_4 stimmen unsere Ergebnisse mit denen der anderen Untersucher annähernd überein.

Anlage 5: Vergleich der motorischen Regeneration des N. medianus bei Direktnaht

	Buck-Gramcko	Geldmacher	Krenkel	Millesi	Samii	Univ. Würzburg
Gesamtzahl	13					17
M_5	1					7
	38 %					59 %
M_4	4					3
M_3	2 15,5%					4 23 %
M_2	4 31 %					2 12 %
M_1	0					1
						6 %
M_0	2 15,5%					0

Anlage 6: Vergleich der motorischen Regeneration d. N. medianus (autologe Transplantation)

	Buck-Gramcko	Geldmacher	Krenkel	Millesi	Samii	Univ. Würzburg
Gesamtzahl	23	9		28	17	22
M_5	1	1			6	2
	30 %	22 %		17 – 60 %	65 %	32 %
M_4	6	1	30 %		5	5
M_3	4 18 %	1 11 %		6 22 %	2 12 %	8 36 %
M_2	1 4 %	3 33 %		2 8 %		6 28 %
M_1	0	3 33 %		3 10 %		1 4 %
M_0	11 48 %				4 23 %	

Anlage 7: Vergleich der motorischen Regeneration des N. ulnaris (Direktnaht)

	Buck-Gramcko	Brooks	Geldmacher	Krenkel	Millesi	Samii	Univ.Würzburg
Gesamtzahl	18						7
M_5	1						1
	44 %						71 %
M_4	7						4
M_3	1 6 %						2 29 %
M_2	3 17 %						
M_1	0						
M_0	6 33 %						

5. Bewertung und Ergebnisvergleich der einzelnen Nerven in ihrer motorischen Funktion

5.1. N. medianus

Beim N. medianus kann man beim Vergleich der motorischen Ergebnisse von annähernd gleich großen Kollektiven ausgehen.

Bei der d i r e k t e n N a h t fanden wir in 59 % der Fälle einen M_5/M_4-Erfolg, BUCK-GRAMCKO in 38 %. Zieht man den Mißerfolg ($M_{0/1}$) als Bewertungskriterium heran, so liegt dieser bei uns mit 6 % erfreulich nierdrig. BUCK-GRAMCKO bewertete dagegen 15,5 % dieser Nähte mit den Stufen $M_{0/1}$. Die Unterschiede in den Erfolgs- bzw. Mißerfolgsquoten können in einem von dem Schweregrad der Verletzung her unterschiedlich strukturierten Patientenkollektiv liegen.

Bei den T r a n s p l a n t a t e n stimmen die von uns ermittelten $M_{4/5}$-Werte mit denen von BUCK-GRAMCKO und GELDMACHER überein (Uni. Würzburg: 31 %, BUCK-GRAMCKO: 3o %, GELDMACHER: 22 %). Besser als unsere Werte sind diejenigen von MILLESI (6o % $M_{5/4}$-Erfolg) und von SAMII (65 %). Vom Standpunkt des Mißerfolges aus fanden wir nur bei 4 % ein $M_{1/o}$-Ergebnis, während die anderen Zentren über unseren Werten lagen (BUCK-GRAMCKO 47 %, GELDMACHER 33 %, MILLESI 1o %, SAMII 23 %).Möglicherweise liegt der Grund hierfür in dem großen Anteil der distalen Verletzungen in unserem Patientengut.

Die Ergebnisse im Überblick finden sich in den Anlagen 3 und 4.

5.2. N. ulnaris

Der Vergleich der Ergebnisse bei den E n d - z u - E n d - N ä h t e n ist aufgrund der geringen Fallzahl erschwert. BUCK-GRAMCKO kann 18 und der Handchirurgische Dienst der Universität Würzburg sieben Fälle überblicken. Der $M_{4/5}$-Erfolg bei BUCK-GRAMCKO betrug dabei

Anlage 8: Vergleich der motorischen Regeneration des N. ulnaris (autologe Transplantation)

	Buck-Gramcko	Brooks	Geldmacher	Krenkel	Millesi	Samii	Univ. Würzburg
Gesamtzahl	15	18	13		39	7	21
M_5	0		2			4	2
	7 %	7 – 39 %	53 %		19 – 48 %	85 %	24 %
M_4	1		5	53 %		2	3
M_3	4 27 %	3 17 %	5 39 %		12 31 %		8 38 %
M_2	2 13 %	Rest 44 %	1 8 %		5 13 %		7 33 %
M_1	0				3 8 %		1 5 %
	53 %						
M_0	8					1 14 %	

acht von 18 und bei uns fünf von sieben. Prozentual ergibt sich daraus 44 % $M_{4/5}$-Erfolg bei BUCK-GRAMCKO und 71 % bei uns.

Bei den T r a n s p l a n t a t e n ist keine Häufung der Ergebnisse um einen bestimmten Wert festzustellen. So fand BUCK-GRAMCKO in 7 % einen $M_{4/5}$-Erfolg, BROOKS in 39 %, GELDMACHER in 53 %, MILLESI in 48 %, SAMII in 85 %. Wir selbst sahen diese Stufen in 24 %. Zieht man wie KRENKEL noch die Stufe M_3 in die Bewertung des Erfolges mit ein, können wir bei 62 % der Patienten einen M_3-M_5-Erfolg feststellen, KRENKEL bei 53 %.

Bewertet man M_1 und M_0 als Mißerfolg, finden GELDMACHER, MILLESI und wir Zahlen unter 1o %. In BUCK-GRAMCKOs Studie findet sich ein $M_{1/0}$-Ergebnis in 53 % und bei SAMII in 14 %. Ob man für diese Schwankungen die unterschiedlichen Patientenzahlen verantwortlich machen kann, scheint zweifelhaft. Wahrscheinlicher ist hier eine unterschiedliche Interpretation des Bewertungsschemas. So hat beispielsweise BROOKS bei einer Diskussion 1972 angegeben, er beurteile ein Verschwinden der Krallenhand bei Rückkehr der Funktion der Mm. interossei bzw. der Hypothenarmuskulatur mit M_4 oder M_5. Unserer Auffassung nach ist dies jedoch zu hoch bewertet. In Würzburg hätte derselbe Patient ein Ergebnis von M_2 bis M_3 erreicht.

5.3. N. medianus und N. ulnaris

In 11 Fällen lag eine Durchtrennung von N. medianus und N. ulnaris vor. Dabei zeigte sich, daß bei Doppeldurchtrennung jeder Nerv für sich die gleiche Chance zur Heilung hat wie bei isolierter Durchtrennung. Beachtenswerterweise fand sich, daß bei sieben Patienten die Sensibilitäten in beiden autonomen Gebieten identisch waren, obwohl die Regenerationsfähigkeit beider Nerven theoretisch unterschiedlich sein könnte. Die Kraft war bei Doppeldurchtrennung durchschnittlich

Anlage 9: Vergleich der motorischen Regeneration des N. radialis (Direktnaht)

	Buck-Gramcko	Brooks	Geldmacher	Krenkel	Millesi	Samii	Univ.-Würzburg
Gesamtzahl	2						1
M_5	1						
M_4							1
M_3	1						
M_2							
M_1							
M_0							

Anlage 10: Vergleich der motorischen Regeneration des N. radialis (autologe Transplantation)

	Ruck-Gramcko	Brooks	Geldmacher	Krenkel	Millesi	Samii	Univ.Würzburg
Gesamtzahl		12	4		18	7	4
M_5			2		7	2	2
		11		75 %			
M_4			1		8	3	
M_3			1		2	1	
M_2					1	0	
M_1		1				1	1
M_0							1

um 61 % gemindert. Addiert man die Werte von N. medianus und N. ulnaris bei isolierter Durchtrennung, erhält man ebenfalls einen Wert von 61 %. Man kann damit eine einfach additive Kraftminderung bei einer Doppeldurchtrennung annehmen.

5.4. N. radialis

Beim N. radialis überblicken die meisten Autoren nur ein sehr kleines Patientengut. So kann BUCK-GRAMCKO bei den E n d - z u - E n d - N ä h t e n nur von zwei Patienten berichten, von denen einer M_2 und einer M_3 erreichten. Wir fanden bei unserem einzigen Patienten, dessen Radialisläsion End-zu-End versorgt werden konnte, einen M_4-Erfolg.

Auch bei den T r a n s p l a n t a t e n können GELDMACHER, SAMII und wir nur über sehr kleine Fallzahlen berichten (GELDMACHER vier Patienten, SAMII sieben und wir vier Patienten). BROOKS und MILLESI verfügen über ein etwas größeres Krankengut (BROKKS 12 Patienten, MILLESI 18 Patienten). Eine statistisch signifikante Aussage ist daher nicht möglich. Auffallend ist jedoch, daß alle Untersucher große Erfolge bei der Wiederherstellung dieses Nerven mittels Transplantat verzeichnen konnten: $M_{5/4}$-Erfolg: BROOKS 11 von 12, GELDMACHER drei von vier, MILLESI 15 von 18, SAMII fünf von sieben, Universität Würzburg zwei von vier. KRENKEL gibt bei $M_{5/4}$ 75 % Erfolg an. Die gute Regenerationsfähigkeit wird von allen genannten Autoren bestätigt. Unsere beiden Mißerfolge beruhen auf zusätzlichen Plexuslähmungen, die bereits in Kapitel VII 7 beschrieben wurden.

5.5. N. ischiadicus

Sowohl die Universität Würzburg als auch die anderen Zentren können nur über Einzelfälle berichten. Eine statistische Auswertung ist deshalb nicht möglich. SEDDON und die Universität Würzburg waren in je einem Fall erfolgreich. MILLESI fand bei der Rekonstruktion dieses

Nerven einen Mißerfolg, da nur die Motorik in der vom N. tibialis versorgten Muskulatur zurückkehrte.

6. Bewertung der Spannung bei einer End-zu-End-Naht

Die Frage, ab welcher Defektlänge ein Transplantat die größere Aussicht auf Erfolg hat als die Direktnaht, ist umstritten.

KUTZ adaptiert bei Längen unter 2,5 cm direkt. Ebenso verfahren BRUNNELLI und MILLESI. BUCK-GRAMCKO und SAMII beginnen bereits ab 1,5 cm zu transplantieren. URBANIK adaptiert bis 5 cm. In unserem Patientengut wurden Defekte etwa ab 1,5 cm mit Transplantaten versorgt.

Es ist unserer Meinung nach müßig, über eine Grenzdefektlänge zu diskutieren, ab der eine Transplantation durchgeführt werden muß. Wichtiger sind die Spannungsverhältnisse an der Nahtstelle. Wir meinen, daß eine geringe Spannung an der Nahtstelle tolerabel ist. In diesem Zusammenhang muß man auf SUNDERLAND verweisen, der im Inneren des Nerven eine Reservelänge beschreibt. Diese Reservelängen haben eine bestimmte Größe, die nicht überschritten werden darf. Ist die Spannung an der Nahtstelle zu groß, verhindert eine Fibrose die Regeneration. Diese Fibrose wurde von MILLESI und SAMII tierexperimentell bewiesen.

7. Einfluß des Zeitintervalls auf das Ergebnis

Wie aus Tabelle 1o zu ersehen ist, ergab sich in den ersten vier Monaten ein konstant gutes Durchschnittsergebnis (S_{3+}/M_4). In diesem Zeitintervall wurden auch die meisten Patienten sekundär versorgt.

Die meisten Autoren fordern für die Nervenrekonstruktion die Einhaltung einer Frist von sechs Monaten.

BUCK-GRAMCKO empfiehlt die Einhaltung einer Frist von vier Monaten, um eine Restitution der Muskulatur zu erreichen. Als optimalen Zeitpunkt erachtet er drei

bis vier Wochen nach der Durchtrennung, da dann die nötigen Umbauvorgänge im Nerven stattgefunden haben.

CLEMENS fordert die Einhaltung von sechs Monaten als obere Grenze. Er rät von einem Eingriff nach 12 Monaten ab, da die Motorik nicht mehr ausreichenden Erfolg biete.

GELDMACHER fordert die Einhaltung einer Zeitspanne von sechs bis acht Wochen nach dem Trauma. Die Primärversorgung soll dabei so einfach wie möglich gehalten werden. Obwohl er sechs Monate als obere Grenze ansieht, befürwortet er auch einen späteren Versuch, da auch geringe Verbesserungen für den Patienten entscheidend seien.

KRENKEL meint, die Grenze von vier Monaten solle möglichst eingehalten werden. Er sah in den ersten 12 Wochen gute Ergebnisse. Danach komme es zu einem Absinken des Erfolges.

MILLESI zieht die frühe Sekundärnaht nach drei bis vier Wochen der Primärnaht vor. Die Primärnaht nimmt er nur bei glatten Wundrändern und einwandfreien Hautverhältnissen vor. Auf keinen Fall vergrößert er die Wunde durch zusätzlichen Hautschnitt. Als obere Grenze setzt er sechs Monate an.

TERTSCH und SCHLESINGER meinen, eine Primärnaht sollte nur nach Rasiermesserschnitten durchgeführt werden, die übrigen sollten nach vier bis sechs Wochen einer frühen Sekundärnaht zugeführt werden.

MARTINI und ZELLNER sowie USBECK bevorzugen die Primärnaht. Eine Zwischenstellung nehmen ELIES und DRIESEN ein, die eine nützliche Funktion in den ersten fünf Monaten sahen.

Es scheint gerechtfertigt, mit BUCK-GRAMCKO und KRENKEL die Einhaltung der Frist von vier Monaten zu fordern. Für den günstigsten Zeitpunkt einer Sekundärnaht erachten wir einen Zeitraum von drei bis sechs Wochen nach dem Trauma, da dann bestehende Infektionen abgeklungen sind

und das Ausmaß der Nervenfibrose erkenntlich ist. Dieser Zeitraum wird nach BROWN durch eine Studie aus dem Zweiten Weltkrieg an 3600 Nervenverletzungen untermauert: Nach zwei bis drei Wochen sinkt die motorische Erholungskapazität um 1 % pro Tag.

Die Überlegungen zur Pathologie des durchtrennten Nerven und seiner von ihm versorgten Muskulatur lassen eine generelle Grenze von einem Jahr, wie SAMII sie fordert, problematisch erscheinen. Im Gegensatz zur Auffassung von CLEMENS sollte man jedoch einen Rekonstruktionsversuch auch nach einem Jahr nicht grundsätzlich ablehnen.

Die von MARTINI und ZELLNER sowie USBECK geforderte Primärnaht wird nicht in jedem Fall möglich sein, wäre aber wegen der Begleitverletzungen aus operationstechnischen Gründen am günstigsten.

Bei größeren Zeitintervallen sollte man auch an eine Ersatzoperation denken, um eine ausreichende Motorik zu erhalten. Hier soll nicht auf technische Einzelheiten eingegangen, sondern nur ein Grundkonzept erläutert werden. Die angegebenen Beispiele sollen nur stellvertretend für viele andere Möglichkeiten stehen (BURKHALTER, FRIEDEBOLD, HIEBLER, MILLESI, NIGST). Voraussetzung für einen Operationserfolg ist jedoch immer eine ausreichende Sensibilität.

Ist der N. r a d i a l i s irreversibel geschädigt, fordert man von einer motorischen Ersatzoperation:
1. Ausreichende Handstreckung: Man transferiert dazu den M. pronator teres auf die Sehne des M. extensor carpi radialis brevis.
2. Ungestörte Finger- und Daumenstreckung: Man adaptiert den M. flexor carpi ulnaris auf die Sehne des M. extensor digitorum communis und den M. palmaris longus, so vorhanden, auf den Daumenstrecker und den M. abductor pollicis longus. Wenn man keinen M. palmaris longus vorfindet, ist man gezwungen, den M. flexor carpi ulnaris zusätzlich auf den Daumenstrecker zu

transponieren.
3. Die nötige Stabilität des Daumengrundgelenks erhält man durch Umleitung des intakten M. extensor pollicis brevis aus dem I. dorsalen Fach auf die Volarfläche des Handgelenks.

Bei völligem Ausfall des N. m e d i a n u s fordert man:
1. Ausreichende Daumenopposition: Man transponiert die Sehne des M. flexor digitorum superficialis IV als M. opponens.
2. Ausreichende Beugung von Zeige- und Mittelfinger: Man adaptiert dazu die tiefen Sehnen von Zeige- und Mittelfinger an die von Ring- und Kleinfinger, so daß die Ulnaris innervierte Muskelhälfte den Ausfall kompensieren kann.
3. Die nötige Sensibilität erhält die Hand durch ein gestieltes Hauttransplantat.

Wenn die Funktion des N. u l n a r i s ausgefallen ist, wünscht man:
1. Überstreckung im Fingergrundgelenk zu vermeiden: Man entschließt sich entweder zur Tendodese oder einer Kapselplastik mit Knochenblock.
2. Spitzgriff zwischen Daumen und Zeigefinger zu stabilisieren: Dies erreicht man am besten durch eine Arthrodese oder ein Sehnentransplantat.

Die Zeit, bis die Hand wieder in vollem Umfang eingesetzt werden kann, ist schwierig abzuschätzen. Die Innervation eines transponierten Muskels nach einer solchen Ersatzoperation kann für den Patienten kompliziert sein. Es ist wichtig, den Patienten zu ermutigen, damit er die Geduld nicht verliert. NIGST beschreibt einen Fall, bei dem die Funktion von einer Stunde zur anderen eintrat.

Indiziert ist die Ersatzoperation besonders bei Personen, die eine völlige Funktionstüchtigkeit ihrer Hände benö-

tigen. So trifft einen Konzertpianisten eine komplette Ulnarislähmung stärker als einen Lehrer. In die Überlegung der Indikationsstellung sollte auch das Alter des Patienten und dessen Bereitschaft zur postoperativen Mitarbeit einbezogen werden. So ist es eine häufig beobachtete Tatsache, daß ältere Patienten nicht den nötigen Einsatz zeigen und eine solche Operation von vorne herein zum Scheitern verurteilt ist.

Einschränken sollte man nach NIGST die Indikation, wenn der Patient gelernt hat, sich mit Trickbewegungen zurecht zu finden. Ganz von einer Ersatzoperation sollte man absehen, wenn die Läsion auf der nicht dominanten Seite sitzt und durch Trickbewegungen kompensiert wird.

8. Einfluß des Patientenalters auf das Ergebnis

Alle Autoren stimmen in der Beurteilung des Einflusses des Patientenalters auf das Ergebnis überein.

BUCK-GRAMCKO legt die Grenze für gute Erfolge bis 2o Jahre fest, während er jenseits des 35. Lebensjahres unbefriedigende Ergebnisse findet.

MILLESI und K. WILHELM finden nur bei Kindern S_4 und $M_{4/5}$. Ab dem 35. Lebensjahr beobachten sie einen starken Abfall: Nur 25 % der über 35jährigen erreichten S_3 bzw. $M_{3/4}$.

Auch GELDMACHER findet bei Kindern bessere Ergebnisse als bei Erwachsenen. Er macht über die Altersgrenze keine Angabe.

NICHOLSON, SEDDON und SAMII geben bessere Ergebnisse für Kinder an als für Erwachsene, ohne dies in irgendeiner Weise zu quantifizieren.

Klinisch konnten wir dieselben Ergebnisse wie die genannten Autoren finden. In den elektrophysiologischen Befunden beobachteten wir keinen Unterschied zwischen Kindern und Erwachsenen, während die klinischen Befunde bei Kindern eindeutig besser waren. ALMQUIST nimmt

an, daß dies primär auf einer besseren Lernfähigkeit des kindlichen ZNS und nicht auf der Naht selbst beruht.

Darüberhinaus sind bei Kindern andere Narbenverhältnisse als bei Erwachsenen zu erwarten.

9. Beurteilung der End-zu-End-Naht im Vergleich zum Interponat

Sowohl beim N. medianus als auch beim N. ulnaris ist das Ergebnis nach End-zu-End-Naht besser als bei einer Transplantation. Man muß sich vor Augen halten, daß beide Gruppen nicht miteinander vergleichbar sind. Verletzungen, die mit einem Transplantat versorgt werden müssen, sind im allgemeinen schwerer als solche, die man direkt nähen kann. Darüberhinaus sind Patienten, die mit einem Transplantat versorgt werden müssen, meist älter als diejenigen, bei denen eine Direktnaht durchgeführt werden kann. Auch die Pathophysiologie ist bei beiden Formen unterschiedlich. BUCK-GRAMCKO weist darauf hin, daß bei einer Transplantation der aussprossende Achsenzylinder zwei Nahtstellen überwinden muß, um in den distalen Stumpf einzuwachsen. Ein weiterer Punkt, der nicht das gleiche Ergebnis wie bei der Direktnaht erwarten läßt, ist operationsbedingt. Da immer mehrere Faszikel des durchtrennten Nerven mit einem Interponat versorgt werden, ist eine exakte Zuordnung nur dann möglich, wenn man sensible und motorische Fasern unterscheiden kann. Insgesamt sind die Voraussetzungen beim Transplantat schlechter als bei der Direktnaht.

1o. Einfluß der Interponatlänge auf das Ergebnis

Sowohl der N. medianus als auch der N. ulnaris haben in unserer Untersuchung bis zu Transplantatlängen von 7,5 cm ein konstantes Durchschnittsergebnis S_3/M_3. BUCK-GRAMCKO fand bei Interponaten, die länger als 8 cm waren, keine motorische Leitungsfunktion mehr. Bei kleineren Transplantaten zeigten sich im Schnitt bessere

Ergebnisse. ELIES und DRIESEN erhielten eine nützliche Funktion mit Transplantaten, deren Länge durchschnittlich 5,1 cm (± 1,9 cm) betrug. Mißerfolge sahen sie bei Transplantaten, deren Länge über 7,7 cm hinausging. GELDMACHER kam in seiner Studie zu dem Ergebnis, daß die Länge des Interponats keinen Einfluß auf das Ergebnis hat. Es finden sich jedoch keine Aussagen zu den Längen der Interponate, die eingesetzt wurden. MILLESI meint, daß die Ergebnisse nicht nur von der Länge des Transplantats abhängen. Zusätzlich muß man die verschiedenen Faszikelmuster in den beiden Stümpfen beachten. SAMII weist darauf hin, daß nicht nur die Transplantatlänge, sondern auch die Begleitumstände der Verletzung wichtig sind. Wir schließen uns der Meinung BUCK-GRAMCKOs an, 7 cm als kritische Länge zu betrachten, da wir oberhalb dieser Grenze schlechtere Ergebnisse sahen.

11. Beurteilung der elektrophysiologischen Daten

11.1. Elektroneurographischer Befund

ALMQUIST und WOLLSCHLÄGER bestätigen unser Ergebnis, daß zwischen klinischem und elektroneurographischem Befund kein unmittelbarer Zusammenhang besteht. DERBRUNNERs Versuch einer Korrelation zwischen Elektrophysiologie und Klinik ließ sich nicht bestätigen.

11.2. Spontanaktivität

Die noch nach Jahren fortbestehende Spontanaktivität muß man mit LUDIN als Zeichen einer partiellen Denervierung betrachten. Es fand sich bei direkter Naht weniger Spontanaktivität als bei Transplantaten.

Nach operativer Versorgung eines durchtrennten Nerven verliert ein Teil der Muskelfasern seine nervale Versorgung.

Für eine vollständige Regeneration nach Durchtrennung fordern die meisten Autoren (LUDIN, SEDDON, SUNDERLAND) das völlige Verschwinden von Spontanaktivität.

Findet man bei einem schlechten klinischen Ergebnis keine Spontanaktivität und deuten andere elektrophysiologische Befunde nicht auf eine Regeneration hin, darf man nicht eine Regeneration annehmen, sondern muß vielmehr mit einem bindegewebigen Umbau der Muskulatur rechnen (LUDIN, SEDDON).

Um zu unterscheiden, ob Heilung oder bindegewebiger Umbau vorliegt, ist eine wiederholte EMG-Kontrolle nötig.

LUDIN, SEDDON und SUNDERLAND beschreiben als erstes Zeichen einer Regeneration eine Abnahme der Spontanaktivität. Zum Schluß sei noch einmal darauf aufmerksam gemacht, daß Spontanaktivität nicht gleichbedeutend mit Denervation ist. In jedem gesunden Muskel ist eine Spontanaktivität bis zu 10 % physiologisch.

11.3. Motorische Einheit und Muster

Die Amplitudengröße der Regenerationspotentiale gibt SEDDON mit 100 µV bis 2 mV, ihre Dauer mit 5 bis 10 ms an. SUNDERLAND betrachtet nur die beginnende Regeneration und findet hier Amplituden zwischen 50 und 500 µV. Die Dauer der polyphasischen Potentiale beträgt 1 bis 20 ms. LUDIN lehnt den Begriff des Regenerationspotentials ab. Für die entsprechenden Potentiale fordert er eine kontinuierliche Amplitudenzunahme. STÖHR et al. finden eine mittlere Amplitudenzunahme von 3,5 mV. Dies entspricht dem Zweieinhalbfachen der Norm.

Eine grundsätzlich bleibende Vergrößerung des Potentials und einen erhöhten Anteil an polyphasischen Potentialen, die LUDIN als Spätbefund erhielt, können wir ebenso wenig bestätigen wie STÖHR. Ein großer Teil der Potentiale war di- oder triphasisch und zeigte auch keine Amplitudenzunahme. Ein geringer Teil war polyphasisch oder zeigte sog. "Satellitenpotentiale".

Für einen befriedigenden Erfolg muß man einen Rückgang der Polyphasie und eine Amplitudenhöhe zwischen 2 mV und maximal 5 mV fordern, wobei jedoch der Ort der Ab-

leitung entscheidend ist. Bei den kleinen Handmuskeln kann auch physiologischerweise einmal ein etwas höherer Wert auftreten. Die Dauer des Potentials kann dabei mäßig verlängert sein. Hierin stimmen wir mit der Beobachtung LUDINs überein.

Wir fanden wie STÖHR und LUDIN als Zeichen eines bleibenden Innervationsdefizits ein unterschiedlich stark gelichtetes Muster. LUDIN fand nach acht bis zehn Jahren diese Lichtung sogar noch bei befriedigendem klinischen Ergebnis. Die durchschnittliche Amplitude betrug 6,o4 mV ($\pm$ 2,94 mV). Dabei bestand kein Unterschied zwischen End-zu-End-Nähten und Transplantaten.

IX. ZUSAMMENFASSUNG

Zwischen Januar 1972 und Juli 1977 wurden vom Handchirurgischen Dienst der Chirurgischen Universitätsklinik Würzburg 84 Patienten mit 98 Nervenverletzungen operativ versorgt. Zur Nachuntersuchung kamen 63 Patienten mit 77 Verletzungen. Der Mindestabstand Operation - Nachuntersuchung betrug zwei Jahre.

Der am häufigsten betroffene Nerv war der N. medianus. Einen M_5/M_4-Erfolg konnten wir bei den End-zu-End-Nähten in 59 %, bei den Transplantaten in 32 % der Fälle beobachten. Die durchschnittliche Kraftminderung betrug 33 % gegenüber der unverletzten Seite.

Der am zweit häufigsten betroffene Nerv war der N. ulnaris. Bei den End-zu-End-Nähten sahen wir in 71 % und bei den Transplantaten in 24 % der Fälle einen Erfolg. Die durchschnittliche Kraftminderung betrug 27 %.

Bei einer Durchtrennung beider Nerven ist die Aussicht auf Erfolg für jeden Nerven gleich der einer isolierten Schädigung. Die Kraftminderung, die dabei auftritt, entspricht der Addition aus beiden Minderungen (61 %).

Der N. radialis fand sich in fünf Fällen durchtrennt. Einmal konnte er direkt genäht werden, in vier Fällen war eine Transplantation nötig. In zwei Fällen konnte Heilung erzielt werden.

In einem Fall war der N. ischiadicus durchtrennt. Das Ergebnis, das hier erreicht wurde, stimmt mit dem von SEDDON angegebenen Wert überein.

In vier Fällen lag eine Innervationsanomalie vor.

Die Hälfte unserer Patienten erreichte Sensibilitätsstufen, die man als Heilung bzw. gute Besserung bezeichnen muß. Elektroneurographisch war immer eine verlängerte Latenz festzustellen, die bei den Transplantaten stärker ausgeprägt war als bei den End-zu-End-Nähten. Bei der orthodromen Ableitung fanden sich in vielen Fällen

kleine Potentiale, die sich bei der antidromen Methode nicht mehr erfassen ließen.

Elektromyographisch kam es bei der Regeneration zu einem völligen Verschwinden der Spontanaktivität. Gleichzeitig traten Regenerationspotentiale auf, die im Laufe der Regeneration di- oder triphasisch wurden. Bei einem geringen Teil ließen sich Satellitenpotentiale als Zeichen der veränderten Innervation nachweisen. Als Zeichen des Innervationsdefizits blieb die Lichtung des Musters bei relativ hoher Amplitude zurück.

Kinder kamen klinisch zu besseren Ergebnissen als Erwachsene, elektrophysiologisch zeigte sich kein Unterschied. Ein entscheidender Einfluß seitens des ZNS ist zu diskutieren.

Im Vordergrund der subjektiven Beschwerden standen Kälteempfinden und Parästhesien. Einige Patienten klagten auch über Beschwerden im Entnahmebereich des N. suralis.

Die Hälfte der berufstätigen Patienten mußte den Beruf wechseln, wobei die Patienten mit Verletzungen im Bereich des N. medianus stärker betroffen waren als Patienten mit Verletzungen im Bereich des N. ulnaris.

Geringe Spannung, die auf eine End-zu-End-Naht wirkt, hatte keinen Einfluß auf das Ergebnis. Bei Transplantaten fand sich ein gleichbleibend gutes Ergebnis bis zu einer Länge von 7,5 cm.

Eine Rekonstruktion sollte bis zum Ablauf von vier Monaten vorgenommen werden. Der optimale Zeitpunkt liegt zwischen drei und sechs Wochen nach dem Trauma. Ein größeres Zeitintervall als sechs Monate sollte in der Regel vermieden werden, da später in der Regel keine optimalen Ergebnisse mehr zu erzielen sind.

LITERATURVERZEICHNIS

1. AESCULAP — Instrumente für Mikro-Gefäßchirurgie und Mikro-Nervennähte Aesculap Werksinformation 1979

2. ANDERL H. — Mikrochirurg. Transplantationen zur Wiederherstellung nach Armplexuslähmungen Wien. Klin. Wchschr. 85: 539-44 (1973)

3. ALMQUIST E. — Sensory-nerve-conduction J Bone Jt Surg 52 A: 791-96 (197o)

4. BALLANTYNE J.P. COMPBELL M.J. — Electrophysiological study after surgical repair J Neurolog Neurosurg Psychiatry 36: 797-815 (1973)

5. BARGMANN W. — Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen G. Thieme Verlag Stuttgart 1967

6. VAN BEEK A. — Primary versus delayed primary neurorraphy in rat sciatic nerve J Surg Res 18: 335-39 (1975)

7. BENINI A. — Mikrochirurgie der peripheren Nerven - Übersicht Praxis Schw Rundsch Med 62: 1440-47 (1973)

8. BEVIN A.G. — The early tendon transfer for radial nerve transsection Hand 8: 134-36 (1976)

9. BIEMER E. — Mikrogefäßchirurgie Aesculap Wissenschaftliche Information Heft 2 1978

1o. BROWN P.W. — The time factor in surgery Clin Orth Rel Res 68: 14-71 (197o)

11. BÜCHTER L. — Chirurg. Behandlung der verletzten und erkrankten Hand J.A. Barth Verlag Leipzig 1972

12. BUCK-GRAMCKO D. — Diagnostik und Therapie peripherer Nervenschäden Unfallmed H. 18: 179-85 (1973)

13. BUCK-GRAMCKO D. — Diskussion zur Nervennaht Med. Mitteilungen Melsungen H. 46: 156 u. 2o5 (1972)

14. BUCK-GRAMCKO D. — Funktionelle Anatomie der Hand Chir Praxis 11: 99 (1967)

15. BUCK-GRAMCKO D. — Die Untersuchung einer erkrankten oder verletzten Hand
Chir Praxis 11: 261 (1967)

16. BUCK-GRAMCKO D. ZILCH H. — Ergebnisse der Nervenwiederherstellung durch Mikrochirurgie
Handchirurgie 7: 21-31 (1975)

17. BUCK-GRAMCKO D. — Wiederherstellung durchtrennter peripherer Nerven
Chir Praxis 15: 55-63 (1971)

18. BUNNEL ST. — Die Chirurgie der Hand
W. Maudrich Verlag Wien 1959

19. BURKHALTER W. — Tendon transfer in median nerve palsy
Orth Clin North Am 5: 271-81 (1974)

2o. BUSHE K.A. — Nachuntersuchungen mit homologen Transplantaten
Z Neurolog 2o6: 129-48 (1974)

21. BUTTERWORTH G.A. — Interfascicular autologous nerve grafts
J Neurolog Neurosurg Psychiatry 9: 63-66 (1977)

22. CLEMENS R. HILLEMACHER A. — Die Behandlung von akuten Verletzungen peripherer Nerven
Psycho-Neurolog Psychiatr Praxis 4: 296-3o2 (1978)

23. CLEMENS R. — Erkennung und Abgrenzung häufiger Verletzungen peripherer Nerven
Dtsch Med Wchschr 1o3: 7-1o (1978)

24. CLEMENS R. — Neurologische Gesichtspunkte bei Nerventransplantationen
Fortschr Neurolog Psychiatr 43: 32o-28 (1975)

25. COLLINS H.R. — Damage of peripheral nerve
South Med J 6o: 355-58 (1967)

26. DAVIS J et al. — Objective tests for evaluating hand sensation
Plast Reconstr Surg 33: 33o-37 (1964)

27. DEBRUNNER R. — Ergebnisse der N. ulnaris-Nähte
Helv Chir Acta 37: 355-66 (197o)

28. DELLON A.L. — Reduction of sensation in the hand
Plast Reconstr Surg 53: 297-3o5 (1974)

29. DUCKER T.B. — Irradiated-wallerian degenerated homografts
Surg For 19: 445-46 (1968)

30. EDGERTON S. — Cross-arm pedicule
Surgery 64: 248-63 (1968)

31. EDSHAGE S. — Peripheral nerve suture
Acta Chir Scand Suppl 331:
7-17 (1964)

32. EDSHAGE S. — Peripheral nerve injuries.
Diagnosis and treatment
N Engl J Med 278: 1431-36 (1968)

33. ELIES W.
DRIESEN W. — Ergebnisse der operativen Behandlung peripherer Nervenverletzungen durch interfaszikuläre autologe Nerventransplantation oder innere Neurolyse
Der Chirurg 45: 556-60 (1974)

34. ERBSLÖH F.
HAGEN H. — Sekundäre Muskelveränderungen bei peripheren Nervenläsionen
Med. Mitteilungen Melsungen
46: 59-83 (1972)

35. FISCHER — Fein-Instrumente, Mikro-Instrumente, Handchirurgie
Fischer Werksinformation 1979

36. FRIEDEBOLD G. — Wiederherstellungsoperation bei irreparablen Lähmungen peripherer Nerven
Langenbecks Arch Chir 332:
363-68 (1972)

37. GAUL S. — Radial innervated cross-finger flap
J Bone Jt Surg 51 A: 1957-63 (1969)

38. GELDMACHER J. — Nervennähte und Transplantation
Münch Med Wchschr 117: 363-64
(1975)

39. GELDMACHER J. — Die Wiederherstellung peripherer Nerven durch freie Nerventransplantation
Chirurg 46: 307-13 (1975)

40. GRABB W. — Management of nerve injuries in forearm and hand
Orth Clin North Am 1: 419-31 (1970)

41. GRABB W. — Comparison of methods of peripheral nerve suturing in monkeys
Plast Reconstr Surg 46:31-38 (1970)

42. GRAHAM W. et al. — Enhancement of peripheral regeneration
Surg For 24: 457-59 (1973)

43. GREULICH M. — Beurteilung der Sensibilität nach Digitalnervenwiederherstellung
Langenbecks Arch Chir For
Exp Klin Fortschritt Suppl 1977

44. HARDIN C.A. — Salvage of severed or near severed arms. Ann Surg 166: 137-43 (1967)

45. HIEBLER W. — Zeitpunkt, Technik und Ergebnisse von Ersatzoperationen. Handchirurgie 8: 195-98 (1977)

46. HIGHET B. HOLMES W. — Traction injuries. Br J Surg 3o: 212-33 (1943)

47. HIGHET B. SANDERS F.K. — The effect of stretching nerves after suture. Br J Surg 3o: 355-69 (1954)

48. HILL H.L. — Method for obtaining a sural nerve graft. Plast Reconstr Surg 61: 177-79 (1978)

49. HIRASAWA Y. — Regeneration of the vascular system in experimental nerve grafting. Arch Surg 1o9: 42o-25 (1974)

5o. HUSBY J. — Peripheral nerve regeneration. Surg Neurol 1: 173-74 (1973)

51. HURSH J.B. — Conduction velocity and diameter of nerve fibers. Am J Physiol 127: 131-39 (1939)

52. INOUE T. — Factors necessary for successful replantation of upper extremities. Ann Surg 165: 225-38 (1967)

53. ITO T. — Peripheral nerve repair. Acta Orth Scand 47: 283-89 (1976)

54. KAPLAN E. — Functional and surgical anatomy of the hand. Lippincott Comp London 1966

55. KLOSTERMANN G.F. TISCHENDORF F.W. — Der diagnostische Blick. F.K. Schattauer Verlag Stuttgart 1979

56. KLUDZUWEIT G. — Verletzung des tiefen Hohlhandastes des N. ulnaris. Zentralbl Chir 1o2: 1o3-6 (1977)

57. KRENKEL W. — Die Technik der Nervenoperation unter Berücksichtigung des Plexus brachialis. Hefte Unfallheilkunde 81 (1965)

58. KRENKEL W. — Indikation zur operativen Behandlung peripherer Nervenverletzungen. Med Mitteilungen Melsungen (1972)

59. KRÖSL W. ZRUBECKY G. — Arbeitsunfall und Begutachtung. F. Enke Verlag Stuttgart 197o

60. KUNZE K. — Diagnostischer Stellenwert der neurophysiologischen Untersuchungsmethoden. Therapiewoche 28: 4760-86 (1978)

61. VON LANZ T., WACHSMUTH W. — Praktische Anatomie. Bd. I, 3 (Arm). Springer Verlag Berlin, Göttingen Heidelberg 1959

62. LANZ U. — Variationen des N. medianus im Bereich des Karpalkanals. Handchirurgie 7: 159-62 (1975)

63. LEONHARDT H. — Histologie, Zytologie und Mikroanatomie des Menschen. G. Thieme Verlag Stuttgart 1974

64. LUDIN H.P. — Praktische Elektromyographie. F. Enke Verlag Stüttgart 1976

65. MARTINI A., ZELLNER R. — Ergebnisse der Nervenwiederherstellung an der oberen Extremität. Chirurg 47: 682-86 (1976)

66. MC. QUILLIAN W.M. — Sensory recovery after nerve repair. Hand 2: 7-9 und 101-111 (1970)

67. MATHES S.J. — Direct fascicular repair. Surg For 26: 545-46 (1975)

68. MELLEROWICZ H. — Experimentelle Erfahrung mit der autologen Nerventransplantation am Kaninchen. Arch Orth Unfallchir 87: 101-9 (1977)

69. MILWARD T. et al. — The abductor digiti minimi muscle flap. Hand 9: 82-85 (1977)

70. MILLESI H. — Erfahrungen mit Mikrochirurgie peripherer Nerven. Chir Plast Reconstr 3: 47-55 (1967)

71. MILLESI H. — Zum Problem der Überbrückung von Defekten peripherer Nerven. Wien Med Wchschr 118: 182-87 (1975)

72. MILLESI H. — Wiederherstellung durchtrennter peripherer Nerven mit Hilfe der mikrochirurgischen Operationstechnik. Zeiss Information 74: 135-38 (1969)

73. MILLESI H. — Wiederherstellung durchtrennter peripherer Nerven und Nerventransplantation. Münch Med Wchschr 111: 2669-74 (1969) II

74. MILLESI H. — Die Nervenverletzungen der Hand. Dtsch Med J 22: 82-86 (1971)

75. MILLESI H. — Dokumentation und Bewertung praeund postoperativer Befunde im Rahmen der Wiederherstellung verletzter peripherer Nerven
Med Mitteilungen Melsungen
46: 253-59 (1972)

76. MILLESI H. — Interfascicular nerve-grafting for repair of peripheral nerves of the upper extremity
Orth Clin North Am 8: 387-4o4 (1977)

77. MILLESI H. — Interfascicular nerve-grafting of the median and ulnar nerve
J Bone Jt Surg 54 A: 727-5o (1972)

78. MILLESI H. — Wiederherstellung der Kontinuität nach Durchtrennung peripherer Nerven durch Nervennaht oder Nerventransplantation
Ther Umschau 32: 446-52 (1975)

79. MILLESI H. — Die Bedeutung der Nerventransplantation in der Chirurgie der peripheren Nerven
Zentralbl Chir 1oo: 1537-41 (1975)

8o. MILLESI H. — Wiederherstellung der Greiffunktion bei Lähmungen nach Verletzungen peripherer Nerven durch Operation am Nerven bzw. durch Ersatzoperation
Langenbecks Arch Chir 339 (1975)

81. MILLESI H. — Further experience with interfascicular grafting of the median, ulnar and radial nerve
J Bone Jt Surg 58 A: 2o9-18 (1976)

82. MILLESI H. — Zur Operationstechnik im Rahmen der Mikrochirurgie der peripheren Nerven
Acta Chir Austr 2: 25-31 (1977)

83. MILLESI H et al. — Indication, technique and results of nerve grafting
Handchirurgie Sonderheft Nr. 2 1977

84. MITTELBACH H.R. — Die verletzte Hand
J.A. Barth Verlag Frankfurt/Main 1972

85. MOBERG E. — Objective methods for determining the functional value of sensibility in the hand
J Bone Jt Surg 4o B: 454-76 (1958)

86. MOBERG E. — Criticism and study of methods for examining sensibility in the hand
Neurologie 12: 8-19 (1962)

87. MOBERG E. Dringliche Handchirurgie
G. Thieme Verlag Stuttgart 1964

88. MOBERG E. Nerve repair in handsurgery
An analysis
Surg Clin North Am 48: 985-91
(1968)

89. MUMENTHALER M. Neurologie
G. Thieme Verlag Stuttgart 1976

90. MUMENTHALER M.
SCHLIACK H. Läsion peripherer Nerven
G. Thieme Verlag Stuttgart 1977

91. NAPIER J.R. The prehensive movement of the
human hand
J Bone Jt Surg 38 B: 902-13 (1956)

92. NICHOLSON O.R. Nerve repair in civil practice
Br Med J II 1065-71 (1957)

93. NIGST H. Ersatzoperationen nach irreparab-
len Nervenläsionen
Schweiz Arch Neurol Psychiatr
103: 107-15 (1969)

94. NIGST H. Moderne Aspekte der Nachbehand-
lung von Handverletzungen
Landarzt 43: 164-67 (1967)

95. NIGST H. Die Chirurgie der peripheren Nerven
G. Thieme Verlag Stuttgart 1955

96. OMER G. Evaluation and reconstruction of
the forearm and hand after acute
traumatic peripheral nerve injuries
J Bone Jt Surg 50 A: 1457-78 (1968)

97. ÖNNE L. Recovery of sensibility and sudo-
motor activity in the hand after
nerve suture
Acta Chir Scand Suppl 296 (1962)

98. OPPEL U.
RÜGER B. Biomathematik, medizinische Sta-
tistik und Dokumentation
Rathgeber Verlag München 1975

99. PETROV M.
SOLAROV T. Nervenautoplastik
Münch Med Wchschr 108: 752-59 (1966)

100. PETROV M. Transplantations of nerves and
roots of the spinal cord
Reconstr Surg Traumatol
12: 250-62 (1971)

101. PIZZA-KATZER H. Familiäres Auftreten einer
Martin-Gruber-Anastomose
Handchirurgie 8: 215-18 (1978)

102. PLONCARD P. Etude comparative experimentale
de suture nerveuse microchirur-
gical
Neuro-Chirurgie 22: 253-60 (1976)

1o3. POECK K.	Neurologie Springer Verlag Berlin Heidelberg 1978
1o4. ROBERT E.D.	Nerve impulses and trophic effect Arch Neurol 22: 57-63 (197o)
1o5. ROHEN J.	Topographische Anatomie F.K. Schattauer Verlag Stuttgart, New York 1977
1o6. ROWNTREE T.	Anomalous innervation of the hand muscels J Bone Jt Surg 31 B: 5o5-1o (1949)
1o7. SAMII M.	Die operative Versorgung peripherer Nervenverletzungen Therapiewoche 27: 2164-71 (1972)
1o8. SAMII M.	Klinische Resultate der autologen Nerventransplantionen Med Mitteilungen Melsungen 46: 197-2o2 (1977)
1o9. SAMII M.	Interfaszikuläre autologe Nerventransplantation Dtsch Ärzteblatt 7o: 1257-62 (1973)
11o. SCHMIDT R.F. THEWS G.	Einführung in die Physiologie des Menschen Springer Verlag Berlin Heidelberg 1976
111. SCHRÖDER J.M.	Zur Morphologie der Erkrankungen und Schädigungen peripherer Nerven Therapiewoche 28: 473o-47 (1978)
112. SEDDON H.J.	Restoration of function in peripheral nerve injuries Lancet I: 418-19 (1946)
113. SEDDON H.J.	Review of work on peripheral nerve injuries J Ner Met Dis 1o8: 16o-63 (1948)
114. SEDDON H.J.	Peripheral nerve injuries Her Majesty's Stationary Office 1954
115. SEDDON H.J.	Nerve grafting J Bone Jt Surg 45 B: 447-61 (1963)
116. SEIFFERT K.E.	Experimentelle und klinische Untersuchungen zur homologen Nerventransplantation Zentralbl Neurochir 33: 119-3o (1977)
117. SELETZ E.	Peripheral nerve surgery Prog Neurol Psychiatry 24: 3o6-11 (1969)
118. SINGH R. SMITH J.W.	Factors influencing nerve repair Arch Surg 93: 433-37 (1966)

119. SMITH J.W. — Factors in microsurgery of peripheral nerves. Plast Reconstr Surg 33: 317-29 (1964)

12o. SPINNER M. — Reconstruction of the hand in high median nerve injuries. Bull Hosp Joint Dis 26: 191-97 (1965)

121. STOEHR M. — Elektromyographische Spätbefunde nach Reinnervation. EEG-EMG 7: 198-2oo (1976)

122. STANIFORTH P. FISHER T.R. — The effect of sural nerve excision in autologous nerve grafting. Hand 1o: (1978)

123. STRANGE C. — An operation for nerve pedicle grafting. Br J Surg 34: 423-25 (1947)

124. SUNDERLAND S. — The intraneural topography of the radial, median and ulnar nerves. Brain 68: 243-99 (1945)

125. SUNDERLAND S. — The connective tissue of peripheral nerve. Brain 88: 841-54 (1965)

126. SUNDERLAND S. — Nerve and nerve injuries. Livingstone Chruchill 1972

127. TAYLOR J. — The free vascularized nerve graft. Plast Reconstr Surg 57: 423-26 (1976)

128. TSUGE K. — A new technique for nerve suture. Plast Reconstr Surg 56: 496-5oo (1975)

129. TERTSCH D. SCHLESINGER L. — Probleme der peripheren Nervenverletzungen. Z Ärztl Fortbil 68: 1188-91 (1974)

13o. TERZIS J. — The nerve gap. Plast Reconstr Surg 56: 166-69 (1975)

131. TÖNNIS A. — Der Wert der Elektromyographie für die Beurteilung peripherer Nervenverletzungen. Hefte Unfallheilkunde 81: 312 (1965)

132. USBECK W. — Nerve without tension. Acta Neurochir 34: 215-16 (1965)

133. VOSS H. Herlinger R. — Taschenbuch der Anatomie III. G. Fischer Verlag Stuttgart 14. Auflage 1973

134. VOSSKÜHLER J. — Über die Ergebnisse der Nervennähte an der oberen Extremität. Bericht über die Nachuntersuchung von 64 Fällen aus den Jahren 1952-66
Inaugural Diss Med Fak Univ Würzbg (1972)

135. WALLRAFF J. — Leitfaden der Histologie des Menschen
Urban und Schwarzenberg Verlag München,Berlin,Wien 1972

136. WEBER E.H. — Über des Tastsinn
Arch Anat Physiol Wiss Med 152-16o (1835)

137. WEISS P. TAYLOR C. — Impairment of growth and myelinization in regenerating nerve fibers subject to constriction
Pro Soc Exp Biol Med 55: 77-8o (1944)

138. WILHELM K. ROSS A. — Die homoioplastische Nerventransplantation mit lyophilisiertem Nerv
Arch Orth Unfallchir 72: 156-67 (1972)

139. WINTSCH K. — Die Topographie des Medianusquerschnitts
Chirurg 37: 268-7o (1966)

14o. WOLLSCHLÄGER I. — Die Wiederherstellung verletzter Fingernerven. Beurteilung der Ergebnisse anhand des Krankengutes der Chirurgischen Univ. Klinik Würzburg der Jahre 1972-74
Inaugural Diss Med Fak Univ Würzburg 1978

141. WYNN-PARRY C.B. — Rehabilitation of the Hand
London Butterworth (1966)

142. YOUNG J.Z. HOLMES W. — Nerve regeneration
Lancet II: 128-13o (194o)

143. YOUNG J.Z. — Factors influencing the regeneration of nerves
Adv Surg 1: 165-2oo (1949)

144. YOUNG J.Z. — The functional repair of nervous tissue
Phys Rev 22: (1942)

Herrn Prof. Dr. med. U. Lanz danke ich für die Überlassung des Themas, sein Interesse an der Arbeit und für seine Anregungen und Hilfen bei deren Abfassung.

Bei Herrn Prof. Dr. med. E. Kern möchte ich mich für die freundliche Übernahme des Korreferats bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. K. Ricker, der mir die Durchführung der elektrophysiologischen Untersuchungen ermöglichte und mich stets bei deren Interpretation unterstützte. Bei Frau E. Thyroff möchte ich mich für die tatkräftige Unterstützung bei der Einbestellung der Patienten bedanken.

Lebenslauf

Am 28. Februar 1954 wurde ich als zweites Kind des Pharma-Kaufmanns Paul Fels und seiner Ehefrau Charlotte geb. Wagner, in München-Pasing geboren. Seit 1956 wohnten wir in Würzburg.

Vom 1. September 1960 bis zum 30. Juli 1965 besuchte ich die Volksschule in Würzburg, vom 1. September 1965 bis zum 30. Juli 1973 das mathematisch-naturwissenschaftliche Röntgen-Gymnasium. Infolge Schulteilung trat ich am 1. September 1973 in das Friedrich-Koenig-Gymnasium über, wo ich im Juni 1974 das Abitur ablegte.

Vom 1. Juli 1974 bis zum 30. April 1975 leistete ich meinen Grundwehrdienst im Truppensanitätsdienst ab.

Am 1. Mai 1975 begann ich das Medizinstudium an der Universität Würzburg. 1977 bestand ich die ärztliche Vorprüfung, 1978 den ersten und 1980 den zweiten Abschnitt der ärztlichen Prüfung. Vom April 1980 bis zum März 1981 war ich im Praktischen Jahr am Landkrankenhaus Coburg. Im April 1981 bestand ich den dritten Abschnitt der ärztlichen Prüfung.

Bernd Fels

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80